LOS SECRETOS DEL MAR

COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

11



folio



COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

11

COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

11

folio

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W.Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Diseño cubierta: STV Disseny

Publicado por :
Ediciones Folio, S.A.
Muntaner, 371-373
08021 Barcelona

De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar.*

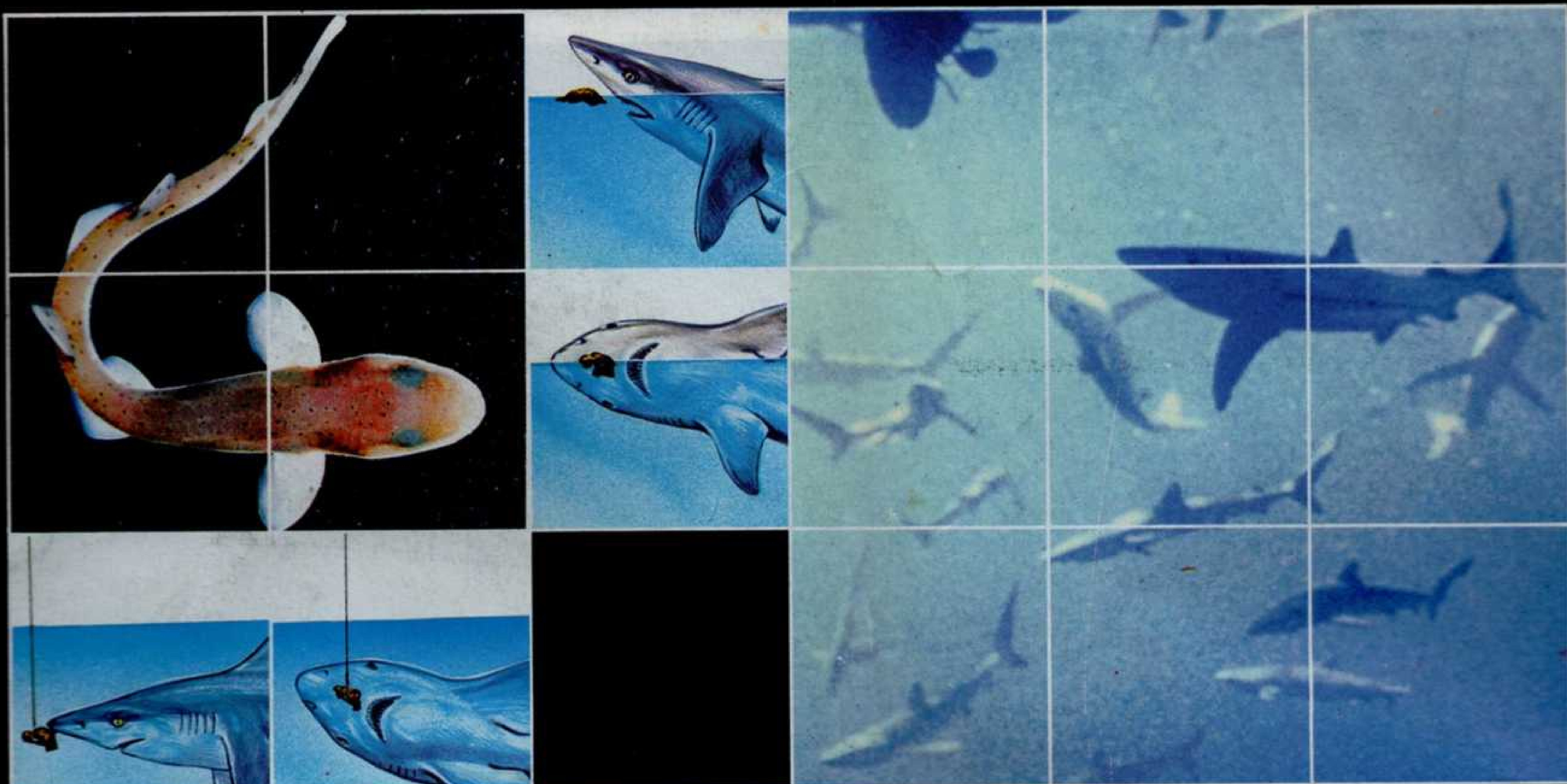
Distribución exclusiva para España y América:
Editorial Rombo, S.A.

ISBN: 84-7583-504-X (Volumen 11)
84-7583-530-9 (Obra completa)

Impresión: Gráficas Estella

Depósito Legal: NA. 1304-1993
Printed in Spain

SUMARIO



Los escualos

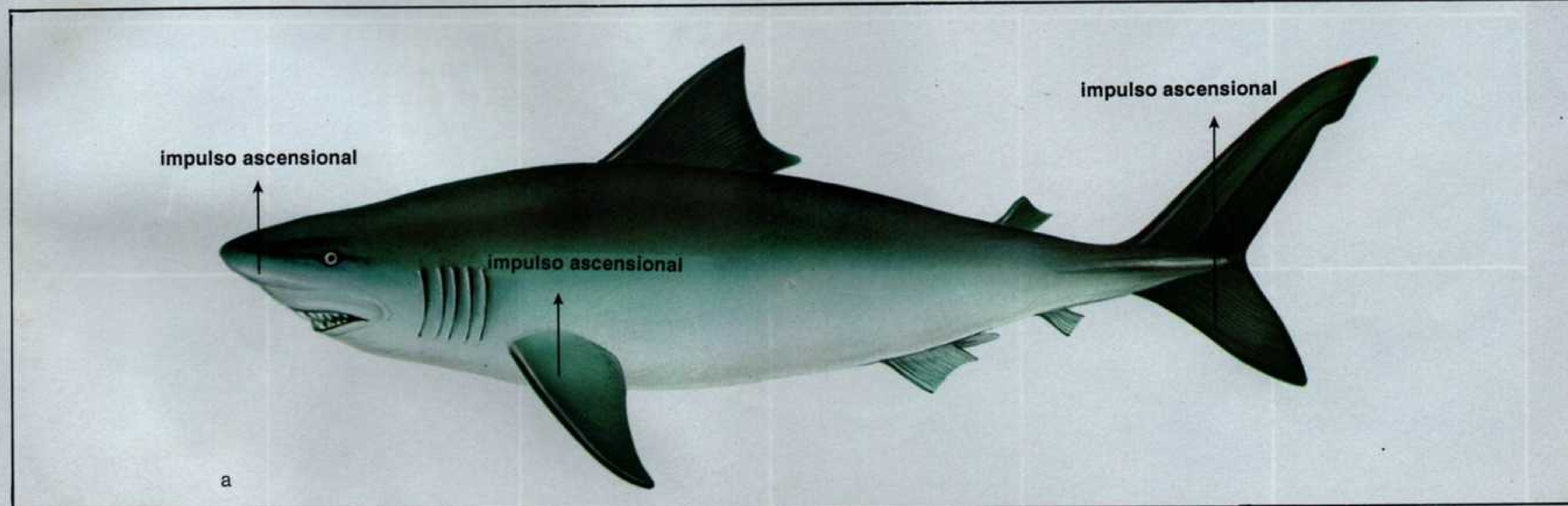
Cazadores de alta mar

La sola palabra «tiburón» evoca el drama, la sangre, la muerte. Películas como *Tiburón I* y *II* y decenas de libros y de *comics* han venido a reforzar este prejuicio. Aunque es cierto que algunos escualos pueden ser peligrosos, no es el caso de todos, ni mucho menos.

Los tiburones son peces cartilaginosos (condroíctios) fácilmente reconocibles por su morfología: cuerpo fusiforme, boca ventral, aleta dorsal en forma de timón, cinco a siete aberturas branquiales a cada lado, cuerpo cubierto de pequeñas escamas placoides (dentadas) que nunca se superponen. Los machos se distinguen de las hembras por el par de apéndices copuladores externos, formados por expansiones de sus dos aletas pélvicas.

Existen unas 30.000 especies de peces, y 300 de tiburones. Estos últimos pueden tener todos los tamaños imaginables, desde el pequeño *Squaliolus laticaudus*, que mide apenas 20 centímetros de longitud y pesa de 150 a 200 gramos, hasta el gigante de los peces, el tiburón ballena, que puede alcanzar cerca de 18 metros desde la punta del hocico hasta la cola y que pesa de 15 a 20 toneladas. De las 300 especies de escualos que existen aproximadamente, solo a unas 30 se las acusa de ataques al hombre, y únicamente cinco o seis son realmente peligrosas: el jaquetón, las tintoreras, el pez martillo, el tiburón toro, el tiburón longimano y el tiburón tigre. Las especies pequeñas huyen del hombre precipitadamente (aunque logren morder por un reflejo de defensa si el buceador las atrapa). Los tiburones gigantes, como el tiburón ballena y el tiburón peregrino, comen solamente plancton y en modo alguno son agresivos.

Para que un tiburón sea declarado «devorador de hombres» no basta con atenerse a las declaraciones sensacionalistas de algunos bañistas asustados. Por más cierto que sea que algunas especies pueden infligir crueles mordeduras, a veces mortales, también lo es que en este campo se exagera mucho. Así, el tiburón fue por mucho tiempo considerado como un ejemplar peligroso. Estudios más objetivos han demostrado que prácticamente nunca ataca al hombre, excepto al sentirse amenazado; por ejemplo, cuando un

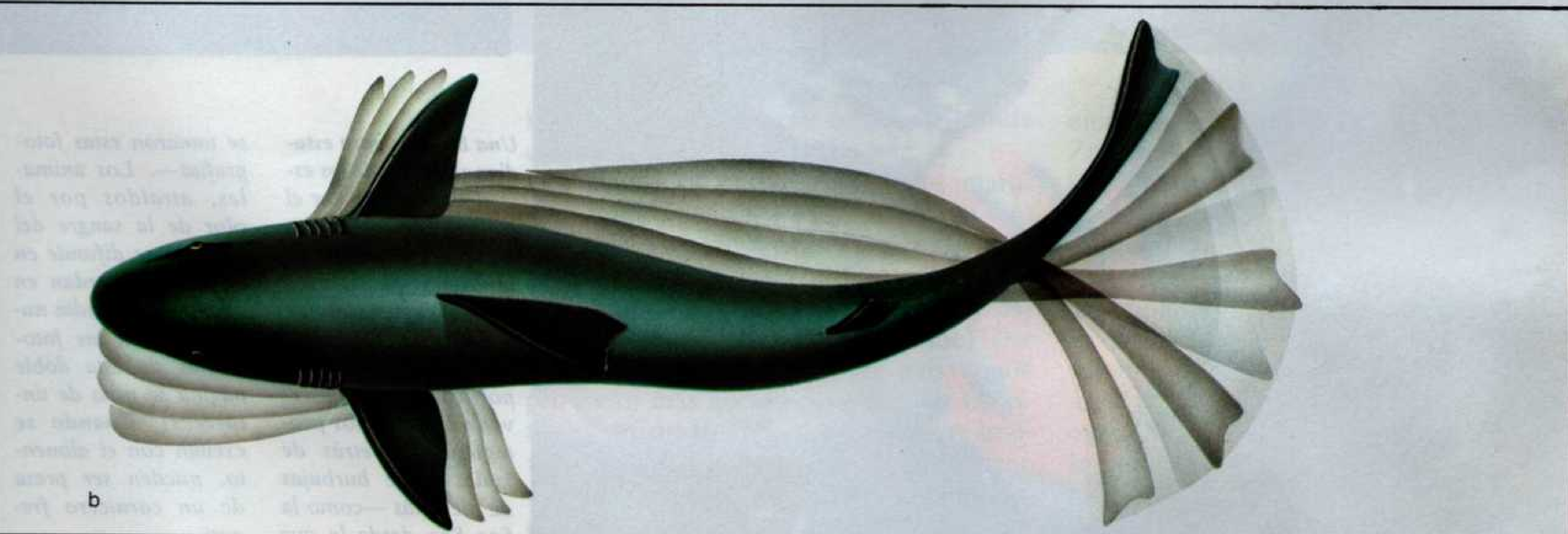






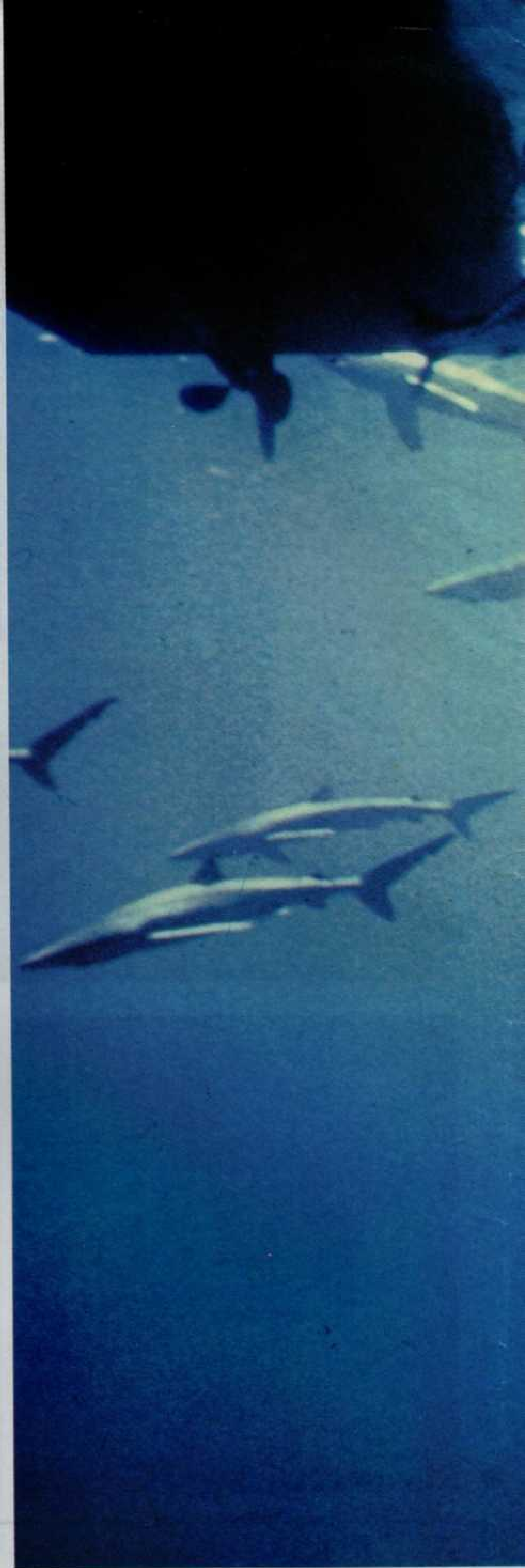


Una magnífica máquina. *Los tiburones nadan con gran elegancia. Su forma hidrodinámica y sus músculos poderosos hacen de ellos unas extraordinarias máquinas biológicas. Por lo demás, los escualos casi no han cambiado desde la era Primaria. El perfil de su cuerpo y de sus aletas (esquema de abajo, a) les permite utilizar mejor la fuerza propulsora de sus ondulaciones laterales (abajo, b). La mayoría de los tiburones cuentan con una impresionante dentadura, constituida por varias hileras de dientes caducos (pequeña fotografía de al lado, a la izquierda). Su piel está cubierta de escamas placoides, que nunca se superponen las unas a las otras y que aparecen como erizadas de dientecillos (aquí, a la izquierda). En la página anterior, arriba: un tiburón longimano en aguas del archipiélago de las Galápagos. Arriba: un joven pez martillo en el Caribe.*











Una burbuja para estudiar el ataque de los escualos. *Una vez que el equipo Cousteau puso a punto las jaulas antitiburones, que se utilizaron especialmente en el mar Rojo, los científicos han tomado por costumbre observar a los escualos protegiéndose detrás de jaulas o de burbujas de plexiglás —como la* Sea See *desde la que se tomaron estas fotografías—. Los animales, atraídos por el olor de la sangre del pez que se difunde en el mar, no tardan en acudir en manadas numerosas (en las fotografías de esta doble página se trata de tintoreras). Cuando se excitan con el alimento, pueden ser presa de un carnicero frenesí.*



buceador lo bloquea en una gruta y trata desesperadamente de escapar.
Los tiburones pueblan todos los mares del mundo, incluidos los polares. Sin embargo, el mayor número de especies prefieren las aguas templadas y cálidas del planeta. Las zonas de arrecifes de coral (mar Rojo, Indo-Pacífico, Caribe) son sus biotopos predilectos. El país donde provocan más accidentes entre los bañistas es Australia. Ciertas especies remontan parcialmente los ríos (como el tiburón toro) y algunas otras se han adaptado incluso al agua dulce. Una de ellas, por ejemplo, vive permanentemente en el río Zambeze y otra puebla el lago Nicaragua.
Los tiburones no son bien conocidos todavía. Probablemente todos se derivan de un antepasado con piel lisa, del que se han encontrado fósiles en terrenos con 350 millones de años de antigüedad. Por lo demás, apenas han cambiado desde la era Primaria, y se muestran perfectamente adaptados al medio acuático. Algunas especies carniceras gigantes vivieron en las eras Secundaria y Terciaria. Tenían el impresionante aspecto del jaquetón y superaban los 15 metros de longitud.

La perpetuación de la especie

FUERON los escualos lo que «inventaron» la fecundación interna, que los reptiles, y luego las aves y los mamíferos, redescubrieron y perfeccionaron. Los machos depositan la lecha directamente en el tracto genital de las hembras, utilizando para ello las expansiones de sus aletas pélvicas que les sirven de apéndices copuladores. Estos comportan una musculatura apropiada, un surco por el que el esperma se vierte en el oviducto de la hembra, y un sistema de bolsa y de sifón de agua que garantiza su lubricación. El apareamiento está precedido de una parada nupcial, a veces bastante sumaria, pero que en ciertas especies es compleja y prolongada. A decir verdad, no se conocen bien los ritos amorosos de los tiburones.

Ciertos escualos, como las pintarrojas, son ovíparos. Los óvulos, una vez fecundados, adquieren materias de reserva (vitelo) y una envoltura bastante resistente; la hembra los pone en el agua (generalmente los engancha con solidez a algas y otras hierbas marinas). Después de un tiempo de incubación, eclosionan los alevines, que acaban con las reservas del vitelo, y luego se nutren ellos solos.

Muchos tiburones son ovovivíparos. En ellos, los huevos fecundados permanecen en el tracto genital de las hembras hasta que los embriones han adquirido un cierto tamaño. Sólo bajo forma de alevines ya eclosionados son expulsadas las crías. El tiempo que pasan creciendo en el seno materno les permite aumentar su fuerza y velocidad; y por lo mismo, sus posibilidades de supervivencia. En estas especies ovovivíparas pueden presentarse dos eventualidades: en el caso más simple, los huevos están protegidos de las agresiones por el cuerpo de la hembra, pero los embriones no obtienen sustancia alimentaria suplementaria. En el caso más complejo, no sólo los alevines eclosionan en el oviducto de su madre, sino que permanecen también en esta forma durante un tiempo dentro de ella, nutriéndose de una especie de rica secreción. En cierto modo, se trata de un «amamantamiento interno». Pero lo más sorprendente es que determinados tiburones son totalmente vivíparos. La naturaleza ensayó ya con los escualos lo que luego lograría perfectamente con los mamíferos. En algunas especies, los huevos fecundados eclosionan muy pronto en el oviducto de las hembras, en cuya pared se fijan (un poco como el embrión de los mamíferos nidifica en el útero). El cuerpo de la madre y el de cada uno de los pequeños en trance de nacer están unidos por un órgano que hace la misma función que la placenta: la sangre materna aporta al joven las sustancias nutritivas y lo desembaraza de sus desechos. La mayoría de las hembras de escualos vivíparos tienen entre cinco y quince pequeños por parto.

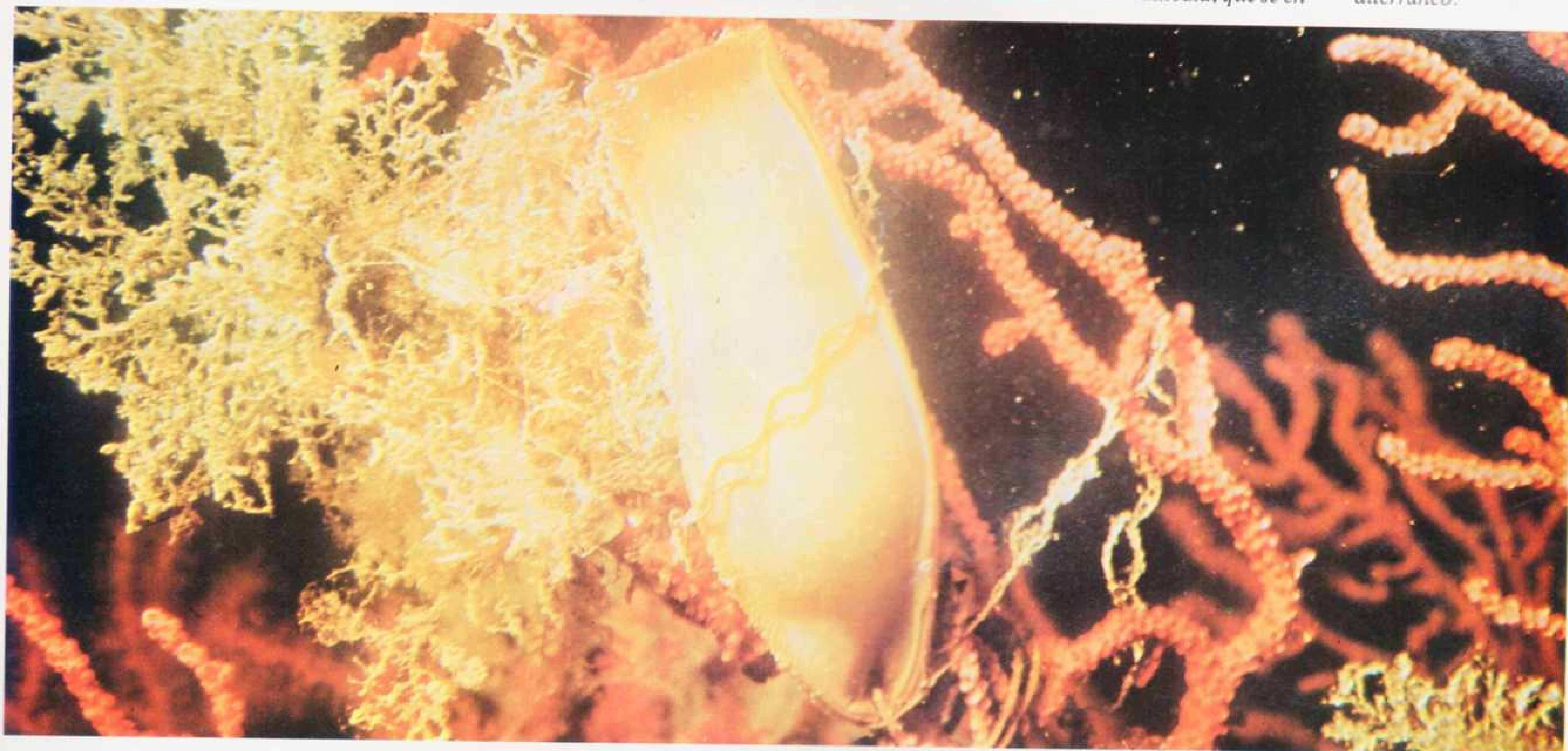


La reproducción de los tiburones. *Los escualos machos disponen de órganos que les permiten introducir su esperma en el oviducto de las hembras. Esta fecundación interna (arriba: un apareamiento de pintarrojas) garantiza un excepcional porcentaje de supervivencia a sus huevos. Algunas especies son ovíparas y enganchan sus huevos fecundados a las hierbas marinas o a los políperos del fondo (en la página siguiente, arriba a la izquierda, y en el centro). Otras especies son ovovivíparas: sus huevos eclosionan en el tracto genital de las hembras, que paren pequeños ya formados. En ocasiones, estas crías chupan una especie de «leche» antes de eclosionar. En los tipos más evolucionados se da incluso una auténtica viviparidad: los embriones están unidos a su madre por una «placenta» y una especie de «cordón umbilical» (que se ve bien en las dos fotografías de la página siguiente, abajo).*





El joven escualo. *Este tiburón recién nacido pertenece a la especie ovovivípara* Scyliorhinus canicula, *que se encuentra extendido por los mares templados y cálidos del planeta, incluso hasta el Mediterráneo.*

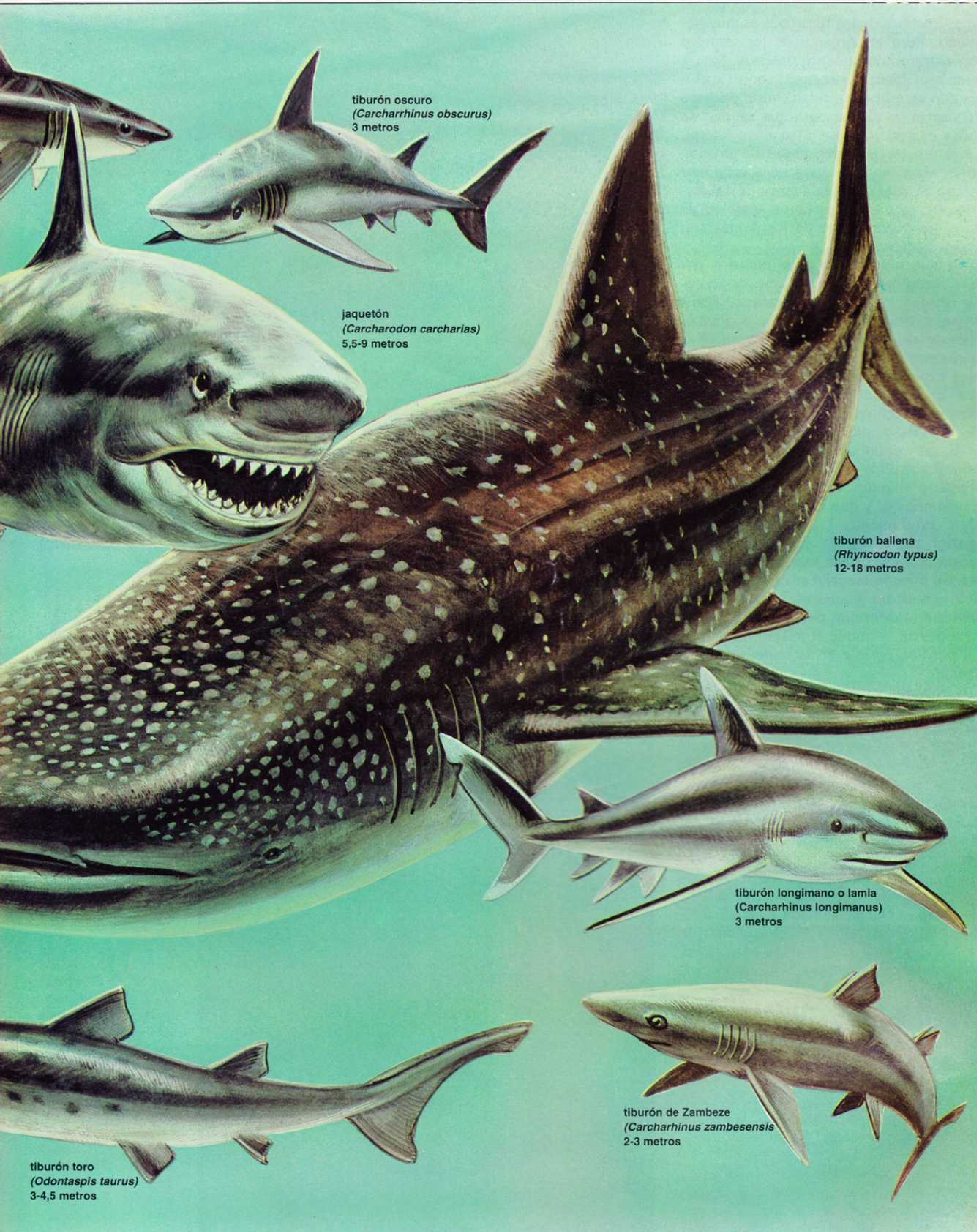






LAS PRINCIPALES ESPECIES DE ESCUALOS




tiburón oscuro
(Carcharrhinus obscurus)
3 metros
jaquetón
(Carcharodon carcharias)
5,5-9 metros
tiburón ballena
(Rhyncodon typus)
12-18 metros
tiburón longimano o lamia
(Carcharhinus longimanus)
3 metros
tiburón de Zambeze
(Carcharhinus zambesensis)
2-3 metros
tiburón toro
(Odontaspis taurus)
3-4,5 metros

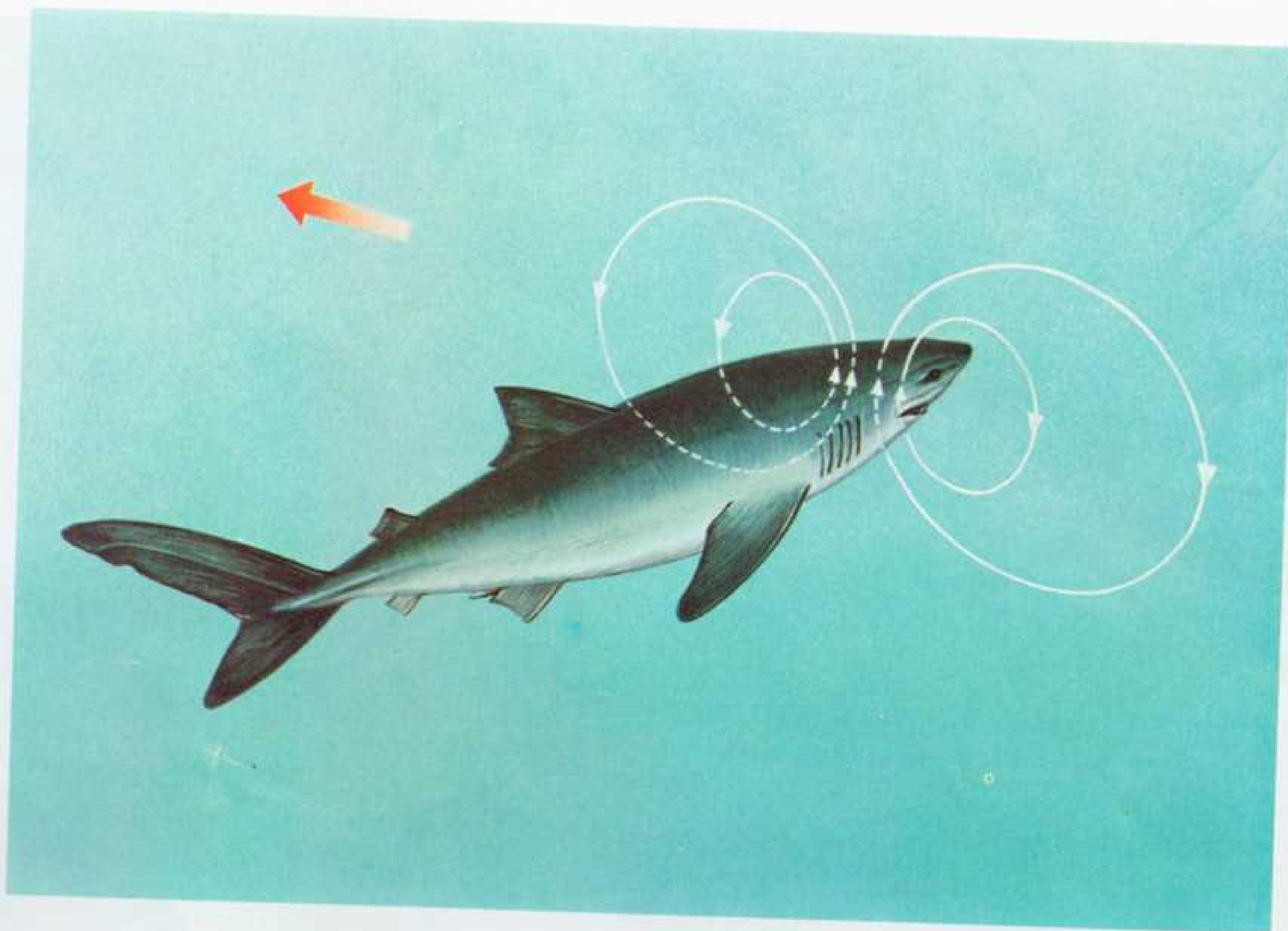
Los órganos de los sentidos

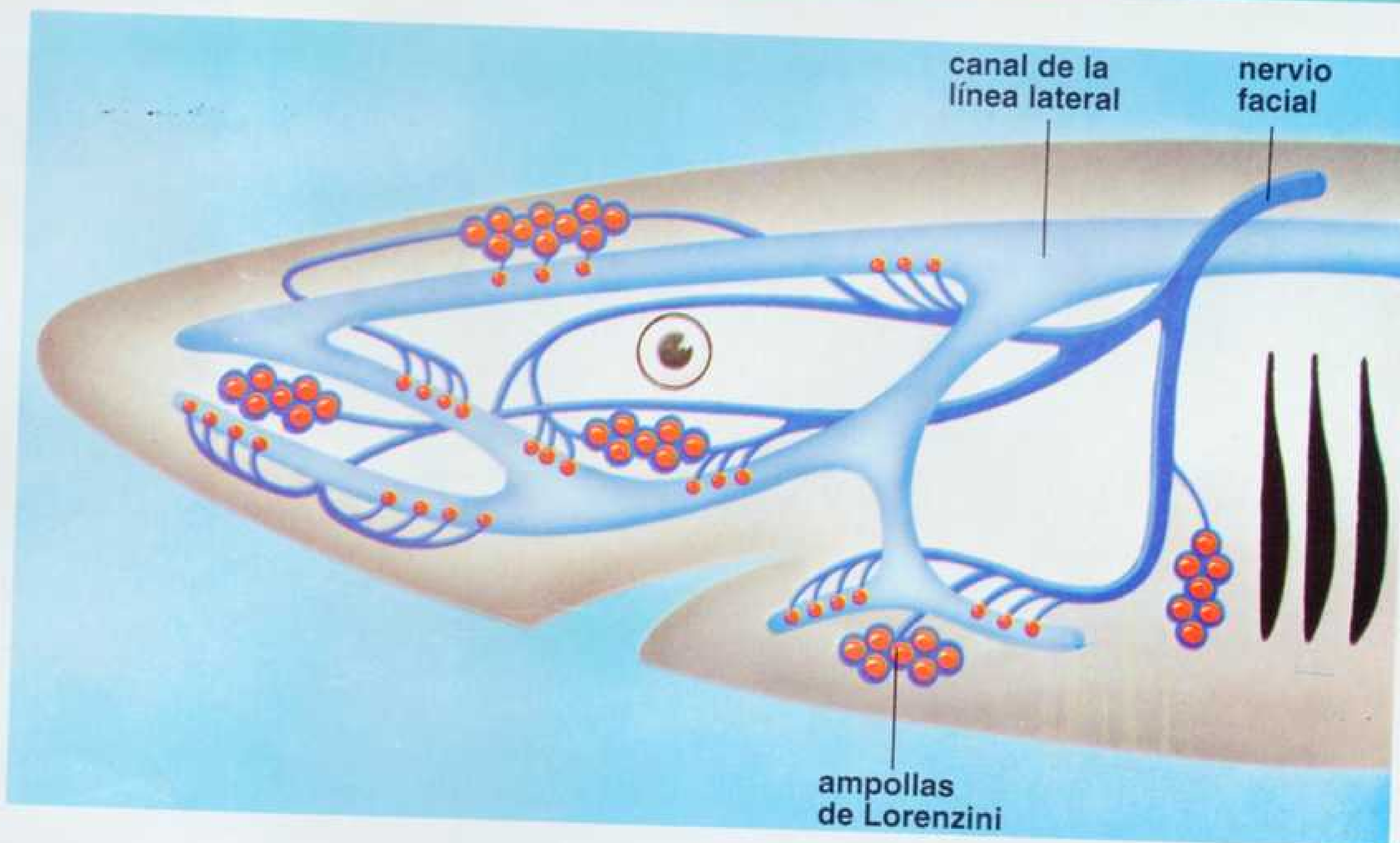
CON relación a su masa corporal, el cerebro de los tiburones es muy pequeño. Pero los órganos de los sentidos son extraordinariamente precisos. Ven y oyen muy bien. Distinguen sabores y olores con inaudita seguridad (basta un poco de sangre en el mar para que acudan de todas partes). Gracias a su línea lateral, advierten las menores ondas de presión en el agua: no sólo conocen a cada momento el sentido y la fuerza de las corrientes, sino que descubren también de lejos los movimientos de los demás animales acuáticos.

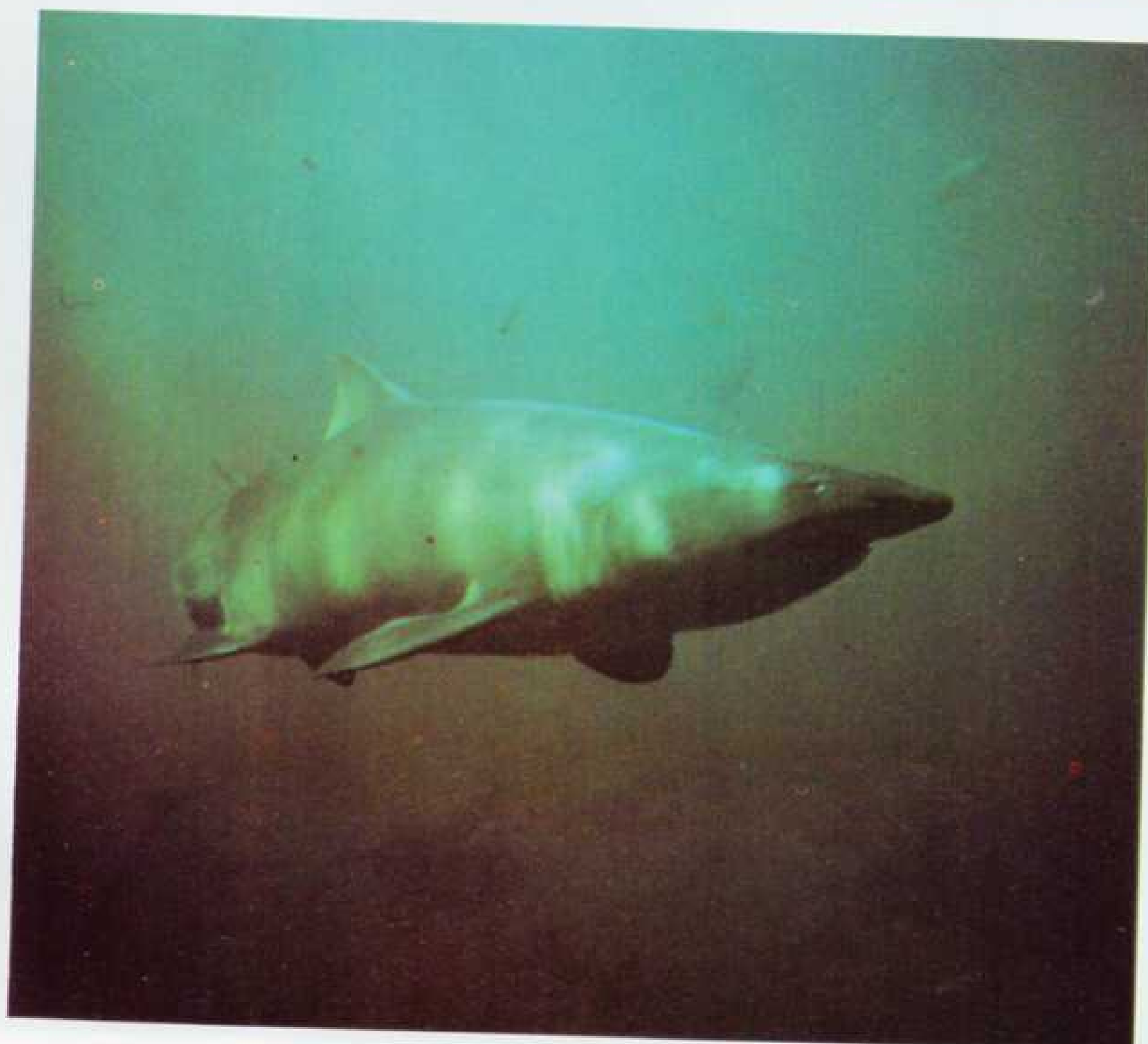
Pero esto no es todo. Los escualos poseen receptores sensoriales que les permiten captar los campos eléctricos. Estos órganos, situados en la cabeza, reciben el nombre de ampollas de Lorenzini. Recientemente se han llevado a cabo múltiples experimentos sobre este tema. Un pez que se debate, un buceador que avanza, e incluso un animal sepultado en la arena del fondo, crean un campo eléctrico, muy débil, sin duda, y por completo imperceptible para nosotros, pero que nuestros aparatos de laboratorio ponen de manifiesto, y que los tiburones descubren certeramente. Las ampollas de Lorenzini, por lo demás, no sirven sino en forma accesoria para localizar a las presas. Su función esencial es probablemente de orientación: gracias a ellas, el escualo advierte la dirección del campo magnético terrestre, y puede él mismo orientarse sin pérdida posible en la inmensidad del océano.

Los mismos especialistas se maravillan ante el tiburón, máquina perfecta de caza. Si sus ojos no le permiten ver con una gran precisión, su retina, por el contrario, es muy abundante en bastoncillos y está adaptada a las condiciones de poca iluminación que reinan bajo varias decenas de metros de agua. El ojo de los tiburones incorpora incluso un dispositivo celular que hace el papel de un espejo, y que amplifica en dirección de la retina los rayos luminosos que atraviesan la córnea. Esta capa celular, llamada *tapetum lucidum*, es tapada por pigmentos cuando la luz es viva; y entra en acción cuando las condiciones de luminosidad son mediocres.

En cuanto al sentido del olfato, es verdaderamente excepcional. Frecuentemente se ha descrito a los escualos como peces que «nadan con la nariz»; y en efecto, cuando avanzan no dejan de mover el morro a izquierda y derecha. Al proceder de este modo, irrigan los millones de células olfativas que tapizan el fondo de sus narinas. Su cerebro analiza los mensajes que los nervios sensoriales correspondientes le transmiten. El animal reconoce rápidamente la existencia de un «gradiente químico» gracias al cual se dirige derecho







Un refinado sistema sensorial. *Los tiburones, grandes depredadores y grandes vagabundos de los océanos (aquí al lado: un tiburón toro de Australia), poseen órganos de los sentidos apropiados para la caza. Además de la vista, bastante buena, cuentan con un excelente oído, una línea lateral precisa, un olfato fuera de lo común, e incluso de dos sentidos extraordinarios: el sentido del calor y el sentido de la electricidad y del magnetismo, cuyos asientos nerviosos receptores están todos situados en las ampollas de Lorenzini.*

hacia su presa. La precisión de este aparato de percepción sorprende incluso a los investigadores.

Múltiples experimentos han probado asimismo la sorprendente sensibilidad de los tiburones a las ondas de presión. Un pez o un nadador que se debaten en el agua crean estas ondas, que los tiburones distinguen a centenares de metros a la redonda, gracias a las múltiples terminaciones nerviosas de su línea lateral. Estas células sensoriales, llamadas neuromastos, están dispuestas en serie a lo largo de un canal superficial lleno de líquido que corre a todo lo largo del pez. El orden en que los neuromastos captan la onda de presión informa inmediatamente al animal de la dirección en que se propaga, esto es, de la dirección en que hay que buscar la fuente de la onda.

El sentido electromagnético. *El sentido electromagnético de los escualos les permite descubrir las presas en la arena, y orientarse en función del campo magnético terrestre (dibujo de la página anterior, arriba). Aquí, a la izquierda: esta secuencia demuestra que el tiburón es atraído por un pez escondido en la arena (a), por un pez encerrado en una jaula no aislada eléctricamente (b), por el alimento para peces (c) y por electrodos que producen un débil campo eléctrico (e), pero que no detecta al pez situado en una caja aislada eléctricamente (d). Abajo: un experimento para manifestar el sentido electromagnético de los escualos.*







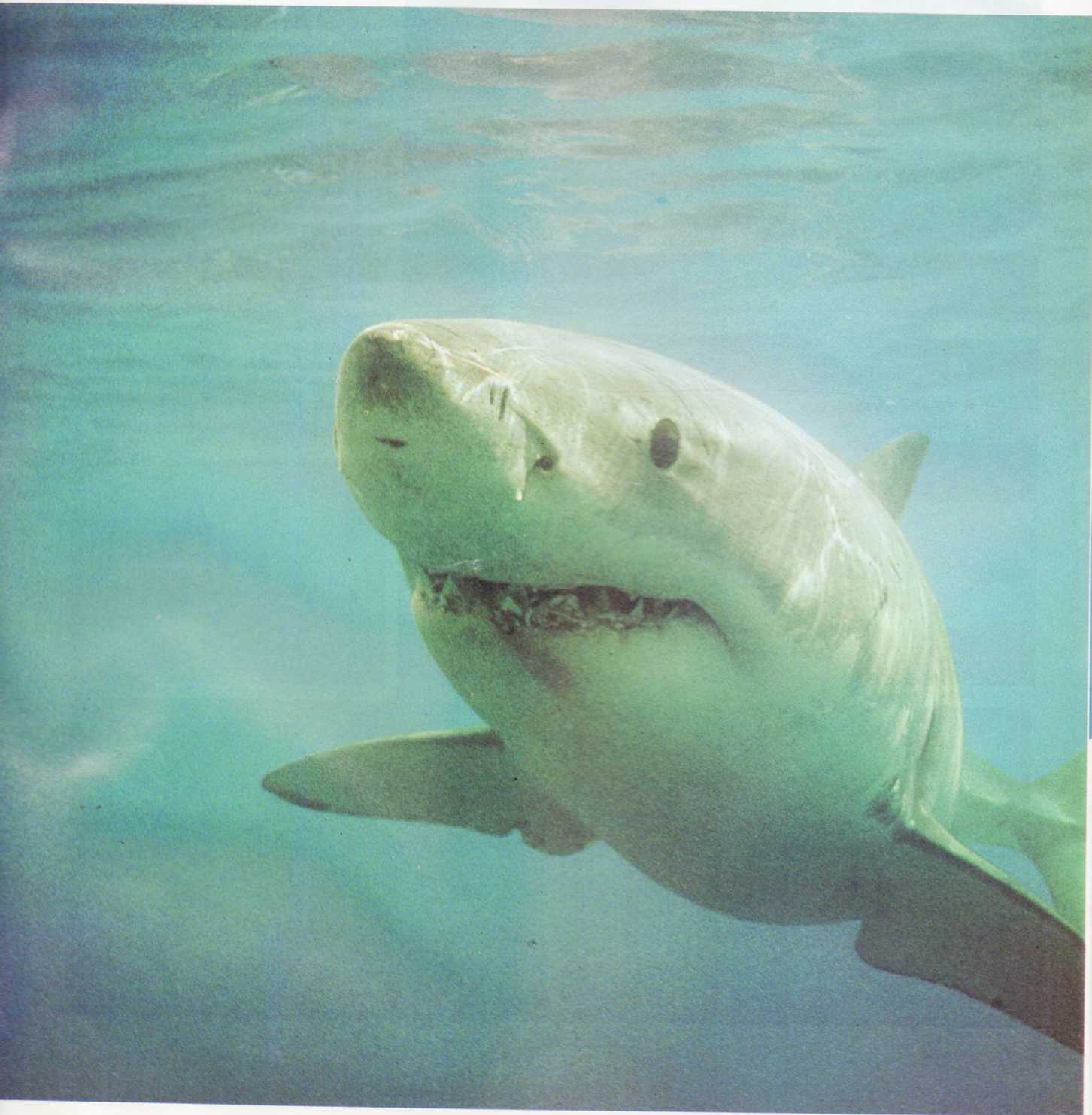
Costumbres alimentarias

TODOS los tiburones son carnívoros, pero no todas las especies se nutren de las mismas presas. Paradójicamente, los de mayor tamaño (tiburón ballena y tiburón peregrino) son planctonívoros: filtran los pequeños organismos gracias a sus dientes en forma de peine.

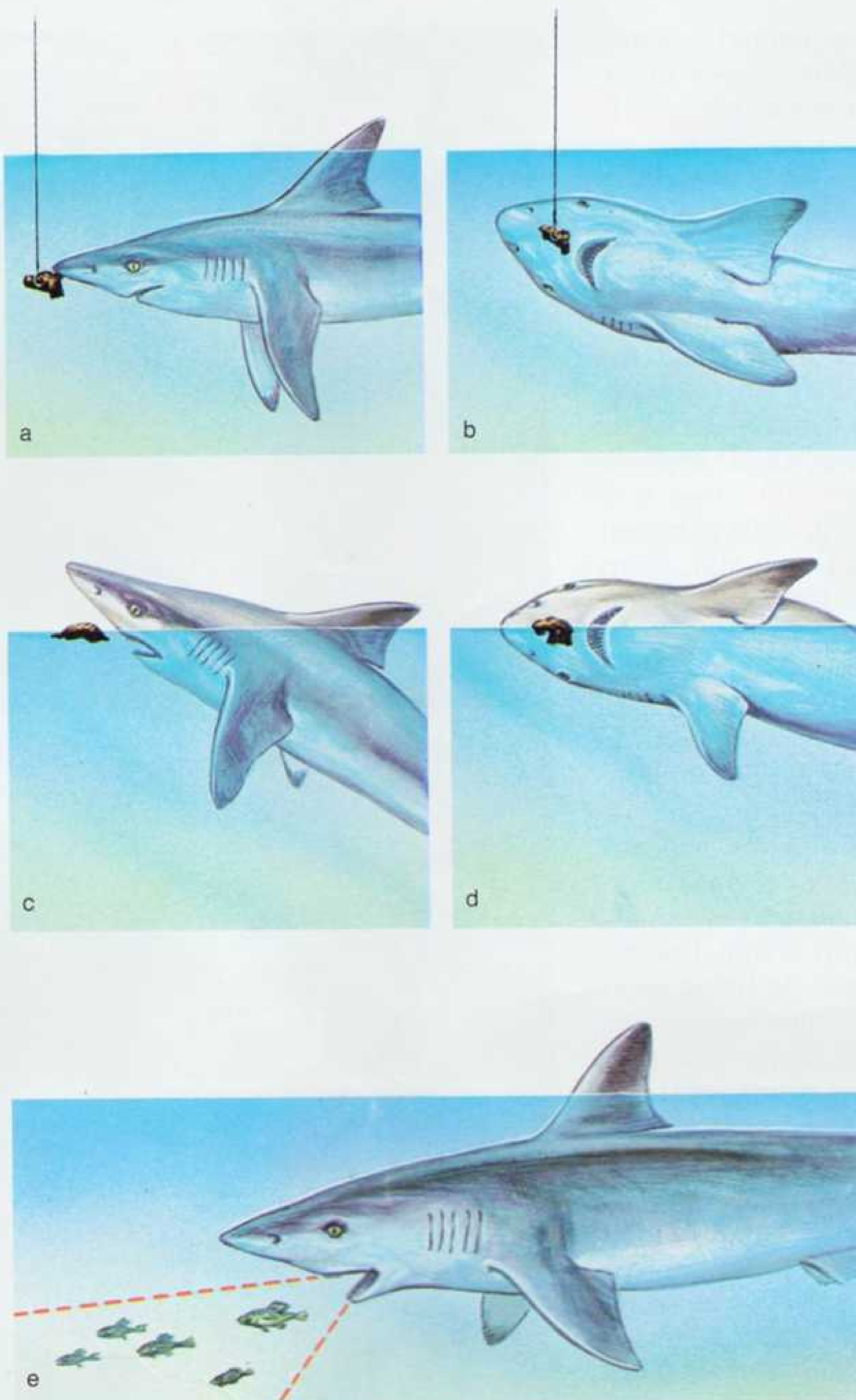
Los tiburones, que poseen varias hileras de dientes cortantes (y renovables), tienen fama de insaciables. Es verdad que pueden encontrarse en su estómago algunos objetos... poco comestibles. Pero se trata de animales de temperatura variable, cuyas necesidades energéticas, por kilogramo de materia viva, son mucho menos importantes que las de las especies homeotermas. En realidad, espacian mucho los grandes banquetes (cuando caen sobre un banco de peces, de calamares, etcétera); luego, pasan días y días sin probar prácticamente bocado.

Se ha escrito que, para atacar a su presa, el tiburón se pone boca arriba y así lanza la dentellada. Las observaciones llevadas a cabo sobre este tema por el equipo Cousteau en el mar Rojo han proporcionado valiosos datos que permiten demostrar que esto era, si no falso, por lo menos excepcional.

El régimen alimentario de los escualos (exceptuado el de las especies planctonívoras) es a base de peces, pero acompañado de múltiples tipos de presas. En todo los mares, los tiburones persiguen a los bancos de sardinas, de bacalaos, de carángidos, de hemulones, etc. Cuando se ven acuciados por el hambre, atacan a estos peces con las fauces desencajadas y se dan el gran hartazgo.



En la época en que se reproducen los calamares y se congregan por millares, los tiburones, alertados sobre todo por el olfato, entran a saco en la masa de moluscos. Los escualos bentónicos (tiburones nodriza) «recogen» en el fondo todo cuanto pueden atrapar: peces planos, holoturias, etc. Los grandes depredadores de alta mar (jaquetón, pez martillo, tiburón toro...) la emprenden, cuando se presenta la ocasión, contra focas, tiburones perdidos o heridos, ballenas aisladas o enfermas, etc.



La comida de los escualos. *Se ha escrito que el tiburón, después de oler el alimento (a), se vuelve de lado para comerlo (b). Esto no es cierto en todos los casos, aunque lo es más en superficie (c y d) que en plena agua. Lo más frecuente, cuando las presas son pequeñas, es que el animal las devore sin necesidad de ponerse de lado (e). Todos los tiburones son carnívoros. Algunos se encuentran entre los más grandes y los más poderosos de los depredadores oceánicos, como el jaquetón (en la página anterior), que es probablemente para el hombre el más peligroso de todos los escualos. La tintorera, el tiburón toro, el pez martillo, son igualmente temibles. Pero otros se contentan con pequeñas presas, o incluso, como el tiburón ballena (abajo) —que alcanza 18 metros de longitud y es el gigante de los peces—, con crustáceos minúsculos y con plancton. Sería totalmente incapaz de hacer el menor mal al hombre.*



Los tiburones peligrosos

Los que los franceses llaman «dientes del mar» no existen. Nunca un tiburón, por más monstruosamente grande que sea, ha perseguido a un hombre por crueldad o por venganza. El escualo es un animal primitivo, cuyo limitado cerebro es totalmente incapaz de sentimientos o propósitos semejantes. El animal sólo come para vivir; cuando no tiene hambre, no ataca; cuando está moderadamente hambriento, se acerca con prudencia a la presa, y cuando se ha hartado no sigue matando. Desde luego, es un cazador eficaz: su poderoso cuerpo musculoso y su boca formidablemente armada le permiten sembrar la desolación en el mar. Pero es tambien un depredador bien integrado en su medio natural (contrariamente al hombre): si ha saciado sus necesidades de alimento, pasará por entre un banco de apetitosos peces sin siquiera abrir la boca. El tiburón no siembra la muerte por placer.

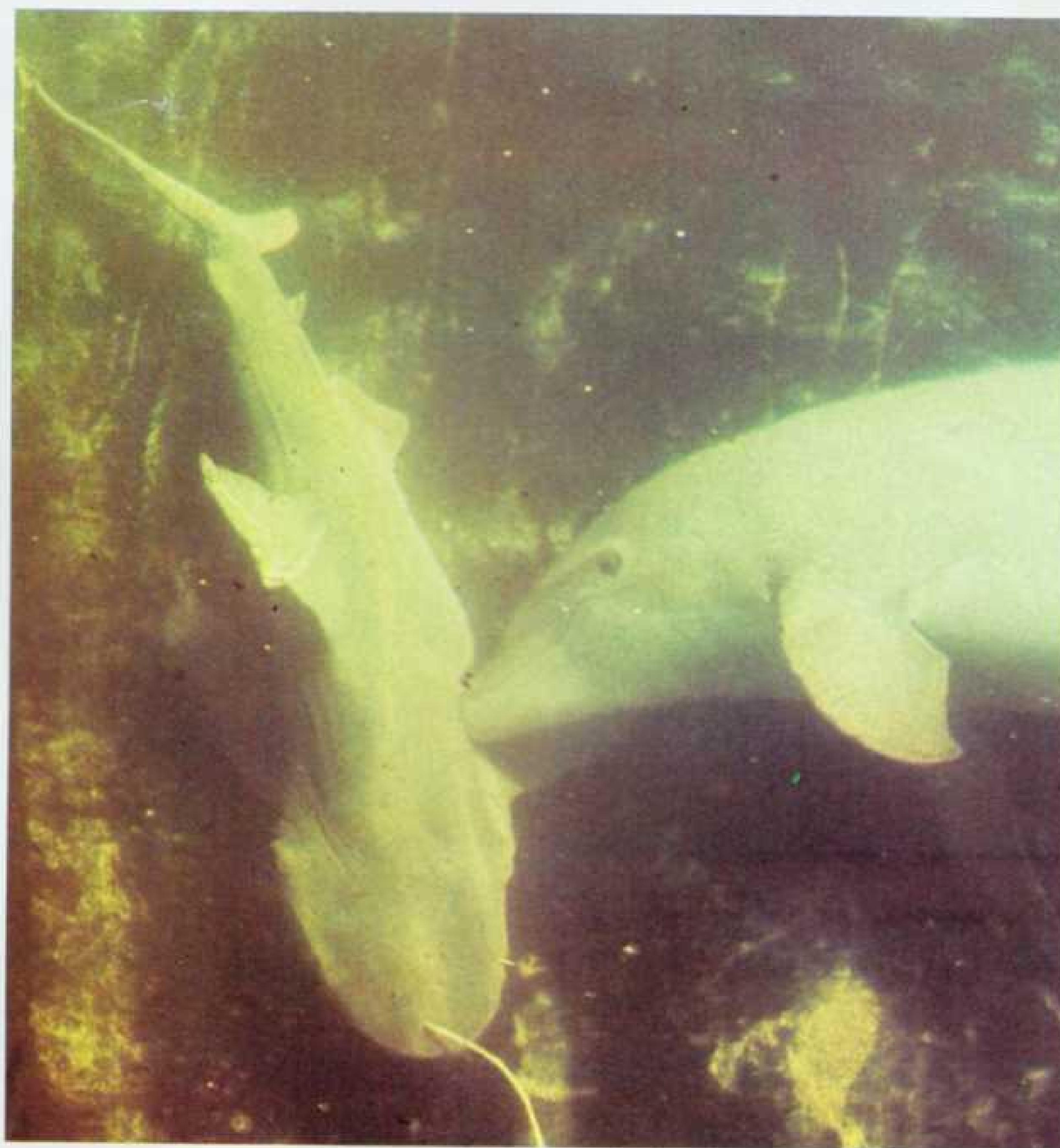
Pero los tiburones devoradores de hombres son una realidad. Aunque para nuestra especie representan un peligro menospreciable: en el conjunto mundial se registran anualmente menos de 100 ataques de escualos contra seres humanos, de los que menos de 30 tienen un desenlace fatal. En la mayoría de los mares, el riesgo de morir por mordiscos de tiburón es prácticamente nulo: entre los lugares donde hay peligro, se pueden citar las costas de Australia, las costas de Florida y del Caribe, y ciertas islas del Indo-Pacífico. En el Mediterráneo, a pesar de los avisos sensacionalistas que se hacen periódicamente («¡Cuidado con los tiburones!», «¡Los tiburones atacan!»), desde hace lustros no se ha tenido que deplorar ningún accidente.

El principal peligro, tratándose de tiburones, es lo imprevisible de su comportamiento, que el equipo Cousteau ha estudiado largamente en especial en el mar Rojo. Y no llegamos a formarnos una opinión definitiva. Los tiburones no atacan jamás a una persona abiertamente: con prudencia, dan vueltas alrededor; el hombre es lo bastante voluminoso como para impresionarle. Sólo cuando han juzgado a su presa, entran en acción. Y todavía, para que la emprendan contra un ser humano, necesitan estar realmente hambrientos.

No obstante, hay circunstancias en las que su ataque se desencadena mucho más rápidamente que de ordinario: cuando hay sangre derramada en el mar, o cuando el hombre (un bañista, por ejemplo) se debate en superficie. El olor de la sangre induce en los tiburones un auténtico frenesí alimentario; excitados, se abalanzan sobre todo cuanto les parece una presa, y lo despedazan; el peligro aumenta cuando, en ese caso, acuden más escua-







Delfines contra tiburones. *Las fotografías de esta página han sido tomadas en el Mote Marine Laboratory de Sarasota, en Florida, donde los biólogos tratan de encontrar armas antitiburones. La mejor es probablemente... el delfín, que manifiesta una hostilidad natural contra los escualos, y los ataca despiadadamente asestándoles grandes picotazos en el hígado (aquí, a la izquierda). En la página siguiente: los principales enemigos de los tiburones; entre todos, el hombre es el más encarnizado... y el más temible.*


cazador
submarino
pez
erizo
calamar gigante
cocodrilo
marino
orca
grupo de delfines



Una fama inmerecida. El tiburón nodriza, fácilmente reconocible por las dos barbillas que cuelgan de su labio superior, era considerado (y todavía lo es, injustamente) como un animal agresivo y peligroso. Recientes estudios, especialmente los del equipo Cousteau en las grutas submarinas de Yucatán, han demostrado que este animal es más bien pacífico y que teme al hombre.

los, animándose mutuamente a morder. La otra circunstancia dramática es cuando el hombre se agita en la superficie. Al tiburón le parece entonces un animal herido (foca, delfín, etc.). Desde muy lejos advierte sus movimientos alocados, gracias a la sensibilidad de su línea lateral y a las ampollas de Lorenzini (que detectan las variaciones del campo eléctrico local). Mientras el buceador avisado puede hacerle frente con probabilidades de impresionarle (¡pidiendo al cielo que el animal no esté *verdaderamente* hambriento!), un bañista en la superficie se encuentra por completo indefenso. La casi totalidad de los ataques de tiburones contra seres humanos se produce en estas condiciones. Los buceadores del equipo Cousteau, cuando ven llegar a los tiburones se ponen espalda contra espalda, y les hacen frente.

A partir de la segunda guerra mundial, se ha tratado activamente de encontrar una protección eficaz contra los tiburones. Los primeros en intentarlo fueron los americanos, preocupados por salvar la vida de los pilotos que caían en el Pacífico en el curso de la guerra contra el Japón. Se pusieron a prueba varias técnicas. Una de las más famosas consistía en desparramar en el mar un «polvo antitiburones» —el *Shark Chaser*—, puesto a punto por el Ministerio de Defensa de Estados Unidos. Esta sustancia estaba hecha de acetato de cobre mezclado con un colorante. Decenas de pilotos en dificultades o náufragos la emplearon. Probablemente les daba confianza. En realidad, ésa era la única eficacia que tenía. En el transcurso de la campaña de estudio de los tiburones en el mar Rojo, el equipo Cousteau probó a su vez este polvo. Llenamos con él el vientre de un gran pescado, que ofrecimos luego a los escualos. No funcionó: de las profundidades surgió un longimano que se lo tragó de tres bocados. Y fue curioso en verdad verle alejarse, con la boca llena del pez que debería de haber desechado, mientras una nube de polvo antitiburones le salía por las branquias...

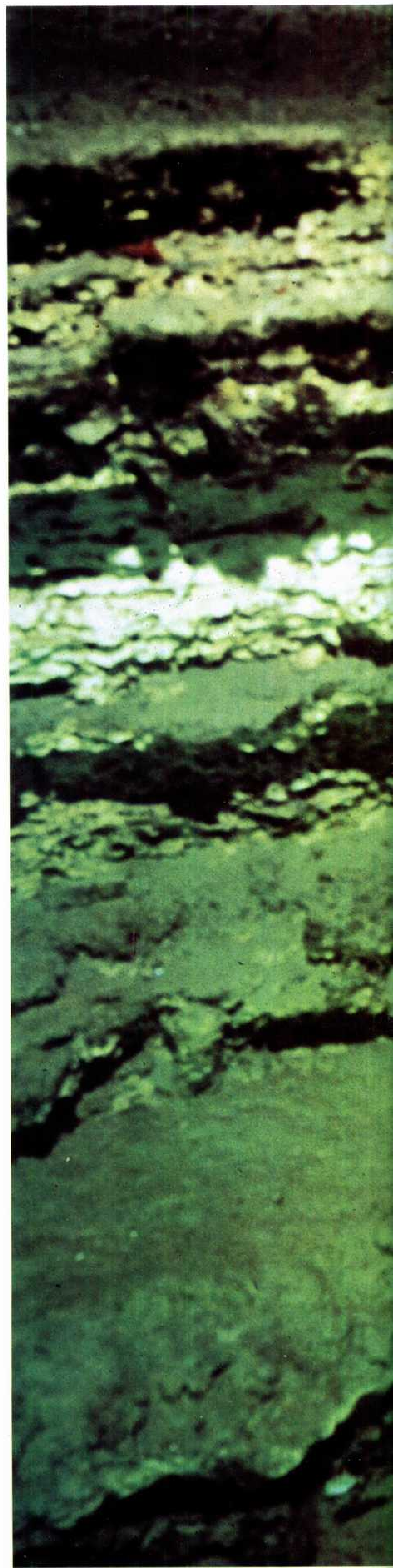
Más recientemente, para encontrar un dispositivo de protección más ingenioso, se han basado las investigaciones en el estudio de los órganos de los sentidos de los escualos. Como los tiburones son atraídos a un tiempo por el olor de sus presas y por las sacudidas que dan, se pensó aislar al náufrago de la masa del océano. El hombre que cae en el mar infestado de tiburones hincha una especie de bolsa-salvavidas de plástico, en la que se desliza: el material sintético impide que su olor se difunda en torno suyo, y amortigua sus gestos. El equipo Cousteau probó también este material. Parece más eficaz que todos los demás. Pero no ofrece probablemente una seguridad absoluta; nadie impedirá jamás que un tiburón verdaderamente hambriento dé una dentellada, simplemente por curiosidad o por probar...

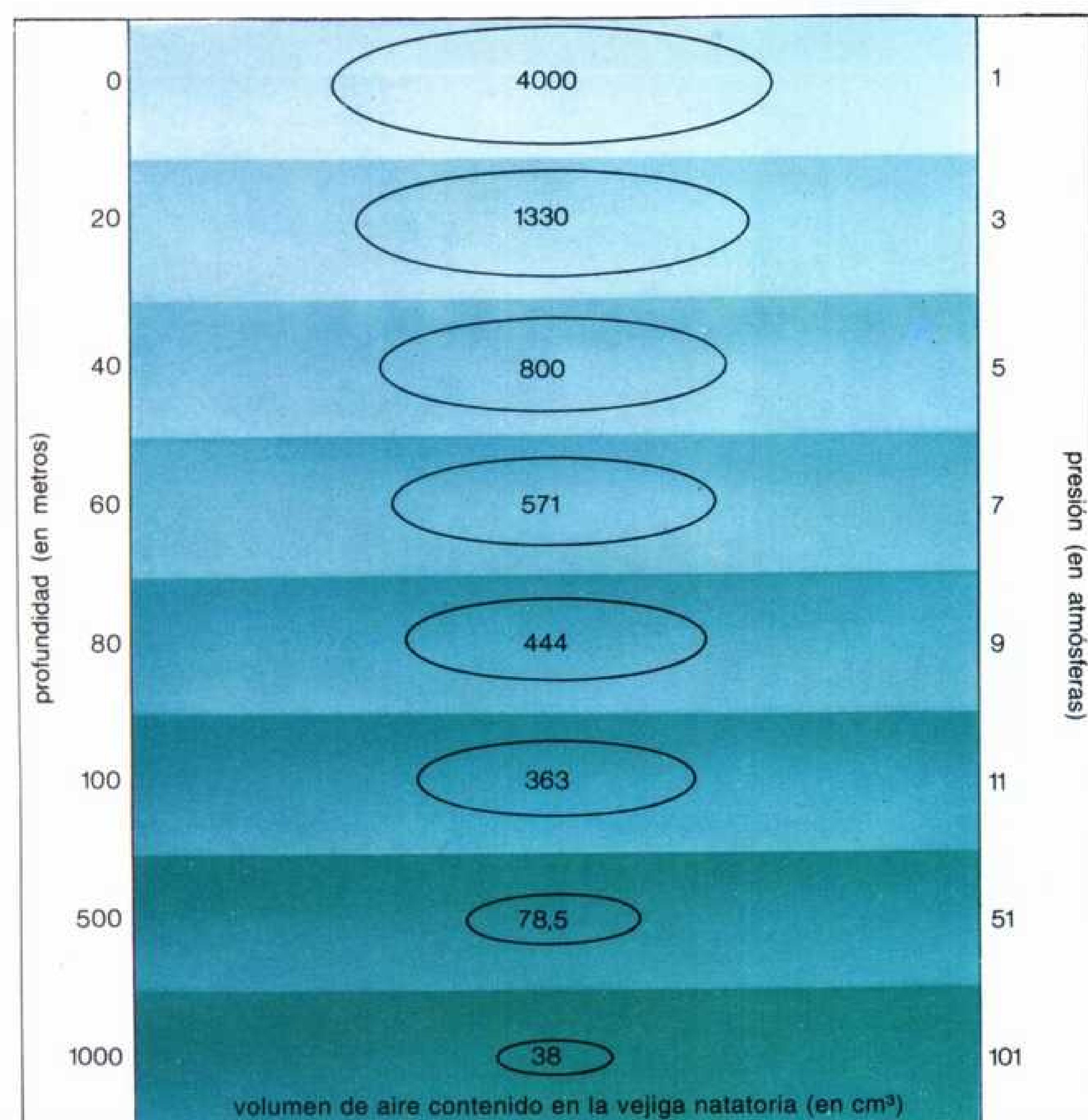
El reino de los abismos

El paisaje abisal

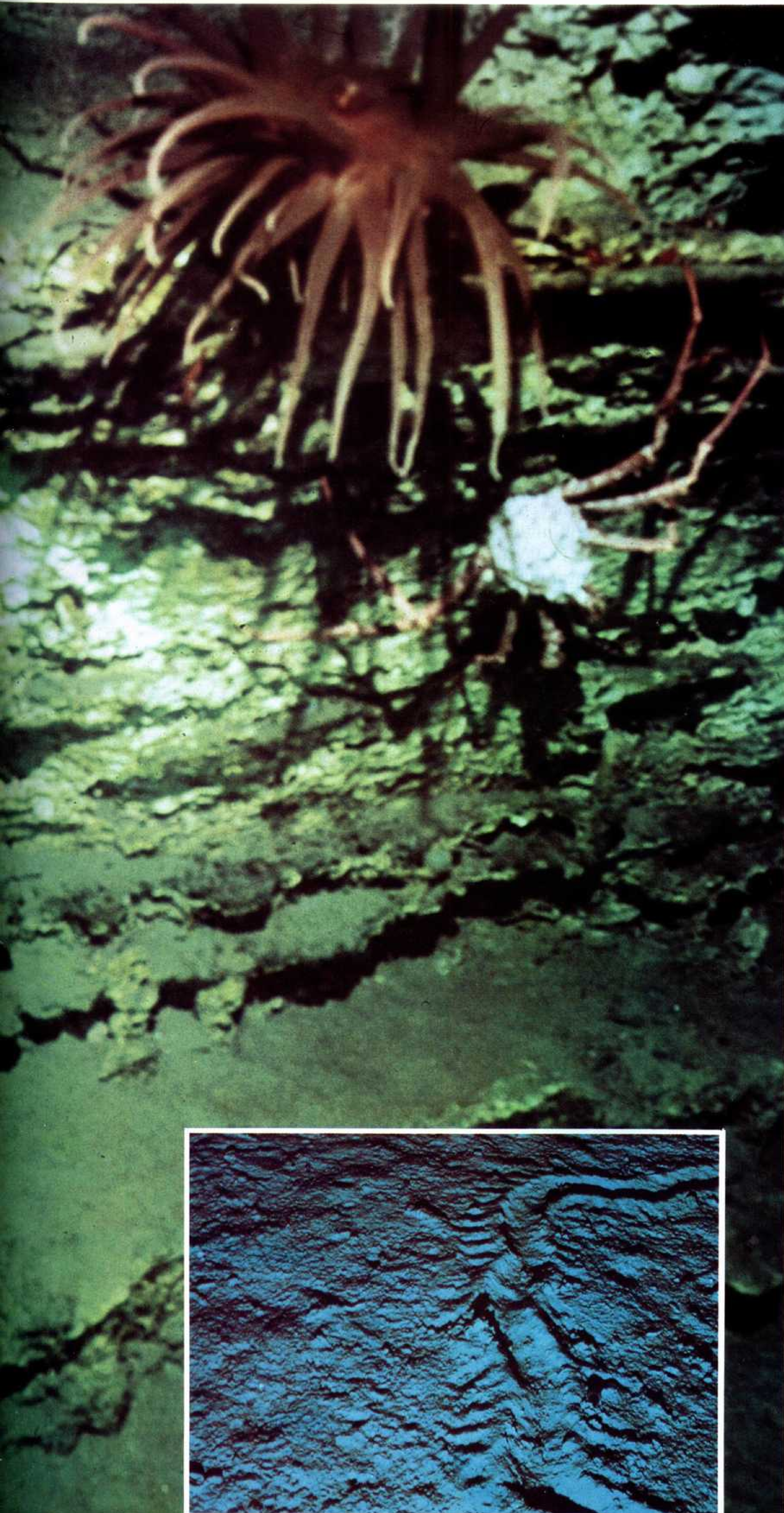
BAJO el mar, a pesar de la monotonía de las grandes llanuras abisales, el paisaje es tan variado y cambiante como en los continentes. Cuando se sale de la plataforma continental, y se mete uno, por ejemplo, por uno de esos cañones que cortan el talud continental y descienden abruptamente hacia los grandes fondos, se observan los más diversos panoramas. Acá y allá, austeras paredes rocosas, apenas cortadas por plataformas donde se refugia la vida, parecen querer aplastar al observador. Mas adelante, sucesiones de salientes más suaves se hunden hacia las tinieblas. Acá y allá, gigantescas cascadas de sedimentos se deslizan incesantemente hacia el suelo oceánico. A partir de los 200 metros de profundidad (e incluso bastante antes en la mayoría de los mares), todo es oscuro. La temperatura del agua disminuye desde la superficie, y desde los 500 a 700 metros de profundidad se estabiliza en torno a los 2 ó 3 °C. Las corrientes de fondo, cuando existen, son mucho menos rápidas que las de la parte superficial. A veces consisten en majestuosas translaciones, muy lentas y casi imperceptibles, de gigantescas masas de agua. El oxígeno, a medida que se desciende, se hace también más escaso, y las sales disueltas (fosfatos, carbonatos, silicatos), aunque no







Rastros de vida. *Un talud continental abrupto separa la plataforma continental de las grandes planicies abisales. Las paredes son barridas por aludes de sedimentos (arriba); de ellas cuelgan raros animales (al lado, a la derecha: una actinia y un picnogónido). En las llanuras abisales se descubren extrañas huellas (recuadro, en la página siguiente). El aumento de la presión impone a los animales difíciles adaptaciones. El esquema gráfico de aquí, a la izquierda, muestra las variaciones del volumen de aire (en centímetros cúbicos) contenido en la vejiga natatoria de un pez que se sumerge gradualmente.*



faltan, son recicladas más lentamente por los seres vivos.

Estos últimos deben enfrentarse a condiciones ecológicas sumamente duras. Falta comida, pues no tienen plantas verdes que sirvan de base a su pirámide trófica; deben contentarse con partículas orgánicas y cadáveres que caen desde las capas superficiales del mar, y que las bacterias descomponen y reciclan. Deben además afrontar los efectos de las altas presiones: descendiendo, cada 10 metros su cuerpo se ve sometido a una atmósfera más; a 2.000 metros, la presión alcanza las 200 atmósferas, y a 5.000 metros, las 500 atmósferas. Si a estas limitaciones se añaden las que resultan de la baja temperatura, poco propicia para una explosión de vida, se comprende que la densidad de los organismos sea cada vez más débil a medida que se baja. En la zona de transición situada entre 500 y 2.000 metros, por ejemplo, donde predominan las esponjas silíceas, las gorgonias, los lirios de mar, las plumas de mar y las ascidias (zona que abarca un 5 por 100 aproximadamente de la superficie total de los fondos), se advierte que la biomasa escasea: pasa de 100 gramos por metro cuadrado a 500 metros a 10 gramos por metro cuadrado a 2.000 metros. Más abajo no cesa de disminuir.

Los ecólogos han dividido los grandes fondos en varias zonas. Por debajo de los 200 metros, es decir, después de la plataforma continental, comienza la zona batial, que llega hasta los 2.000 metros, y que se subdivide en tres subzonas: epibatial (200-500 metros), mesobatial (500-1.000 metros) e infrabatial (1.000-2.000 metros).

La zona abisal propiamente dicha se extiende entre los 2.000 y los 6.000 metros de profundidad: comprende el conjunto de las inmensas planicies de los grandes océanos, sobre las que se levantan picachos rocosos, y por donde corren las fallas y los relieves volcánicos de la dorsal medio-oceánica.

Los fondos abisales constituyen, con mucho, la mayor parte del suelo del océano mundial. Su productividad biológica es sumamente débil: del orden de sólo 0,1 gramos por metro cuadrado a 5.000 metros de profundidad. Finalmente, zona hadal —por referencia al Hades, el infierno de los antiguos griegos— es el nombre reservado a las fosas oceánicas más vertiginosas, que descienden hasta más de 6.000 metros (y que en las proximidades de Filipinas y de las Marianas alcanzan los 11.000 metros).

Las condiciones ecológicas que imperan siempre en estas zanjas tenebrosas, y casi aisladas del resto de la biosfera, son espantosas. A pesar de ello, también triunfa la vida: algunas decenas de especies han sabido adaptarse.

Los sedimentos de los fondos

Los fondos marinos están desigualmente cubiertos de sedimentos, los cuales son de orígenes diversos. Se llama terrígena a la gran masa porque procede de la tierra: son los cascajos, las arenas y las arcillas acarreadas por los ríos; se difunden a veces muy lejos de las desembocaduras, a merced de las corrientes. Muy ricas en partículas orgánicas y en sales minerales, constituyen el medio más favorable para la eclosión de la vida en los abismos. Por lo demás, al pasar sobre la plataforma continental, se les agregan múltiples briznas de plantas y de animales marinos: frústulos de diatomeas, conchas de moluscos, fragmentos de pólipos de coral...

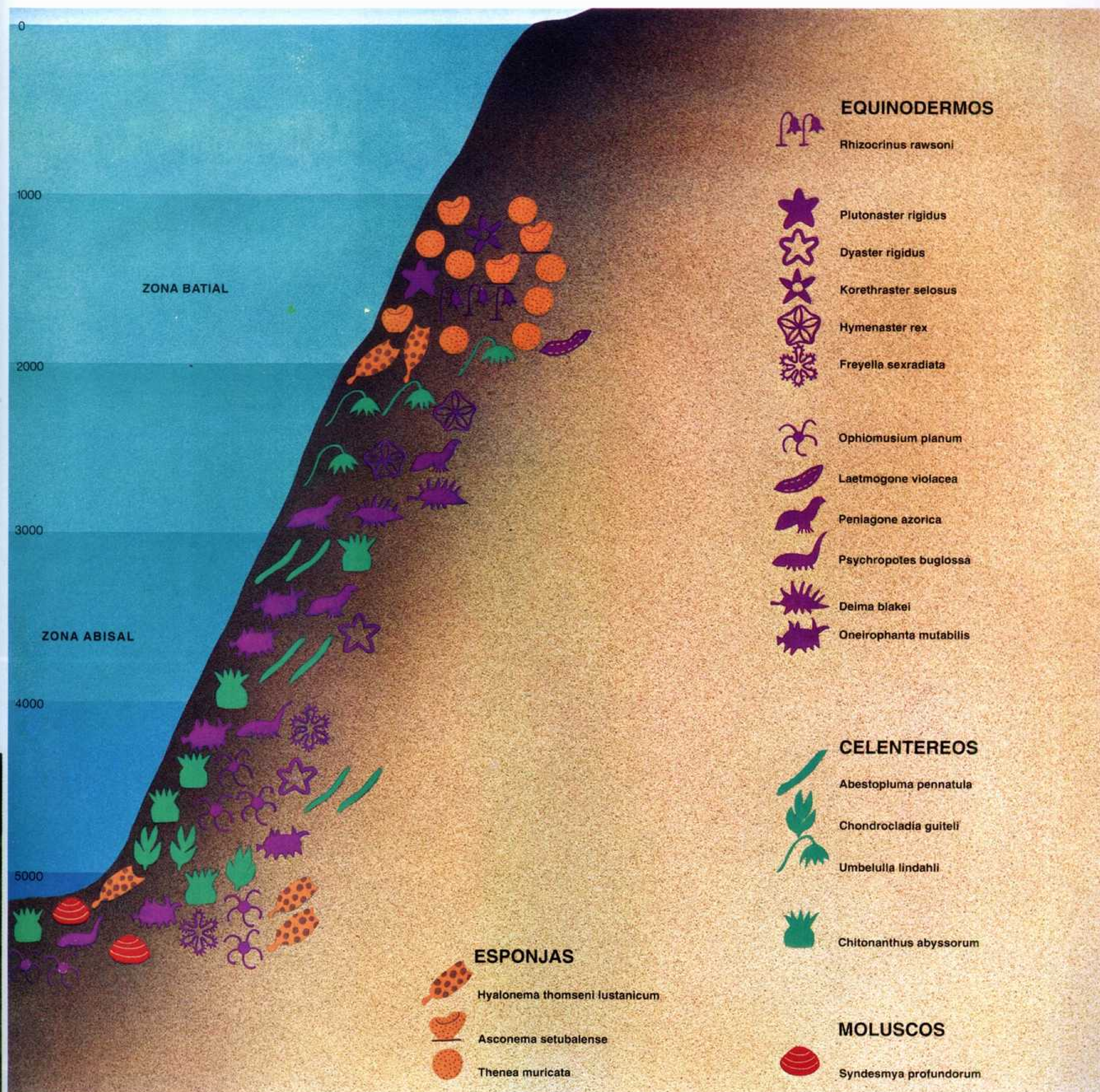
Otros sedimentos terrígenos no tienen por vectores a los ríos: son, por ejemplo, las arenas que los vientos arrancan a los desiertos y dejan caer en alta mar; o los guijarros y cascajos que los icebergs arrancaron en las montañas cuando eran glaciares, y que abandonan en el mar a medida que se funden. O también las cenizas y polvos volcánicos. Tales sedimentos, mucho más pobres que los de los cursos de agua continentales, no constituyen un terreno muy propicio para la multiplicación animal.

Los sedimentos de origen no terrígeno comprenden, por una parte, los polvos cósmicos (de los que, estadísticamente, el 71 por 100 cae en la superficie marina), y por otra, los materiales biógenos. Se llaman así los lodos originados por la caída, en el fondo del mar, de los cadáveres, conchas y esqueletos de plantas y de animales que viven normalmente cerca de la superficie. Estos depósitos pelágicos pueden ser muy espesos.

Los lodos de diatomeas, constituidos principalmente por los frústulos (tecas) silíceos de estas algas unicelulares, existen en numerosas regiones de los abismos, especialmente alrededor de la Antártida y en el Pacífico Norte (desde Alaska hasta el Japón, siguiendo la cadena de las Aleutianas). Los fangos de radiolarios se encuentran en grandes cantidades en las profundidades de los mares tropicales. Igualmente silíceos, forman densas capas, sobre todo en una franja del Pacífico que va desde América Central al archipiélago de las Hawai, y en el océano Indico al noroeste de Australia. Los lodos de foraminíferos, por su parte, son calcáreos. Los foraminíferos son unicelulares de gran tamaño, sumamente abundantes en el plancton marino, y cuyo «esqueleto» está formado por carbonato de calcio. Sólo se encuentran estos lodos a profundidades de menos de 5.000 a 6.000 metros; por debajo de este límite, que constituye lo que se llama la «profundidad de compensación» del carbonato de calcio, este último compuesto estalla y se disuelve.



Los sedimentos del fondo. *Las planicies abisales, inmensas y romas (abajo), están habitadas por escasos animales. En su mayor parte se cubren de sedimentos de origen terrígeno o biógeno (arriba). En el dibujo de la página siguiente: escalonamiento de las especies en el talud continental.*



En ciertos lugares, los fondos oceánicos están cubiertos de sedimentos compuestos, que reciben el nombre de arcillas rojas abisales. Se trata de mezclas de materiales de diversos orígenes (cenizas volcánicas, polvos acarreados por el viento, polvos meteoríticos) sumamente finos, pero en cuyo seno se encuentran, acá y allá, restos de seres vivos: frústulos de diatomeas, conchas de moluscos, aretes de peces, dientes de tiburón, incluso huesos de ballenas.

Los abismos constituyen un ecosistema muy estable. Ciertamente, los continentes derivan y se acumulan los sedimentos; en lugares determinados, volcanes sumergidos siguen manteniendo actividad, y se sabe que arrojan magma. Pero en conjunto, los factores influyentes en la variación del medio todavía son escasos y poco potentes.

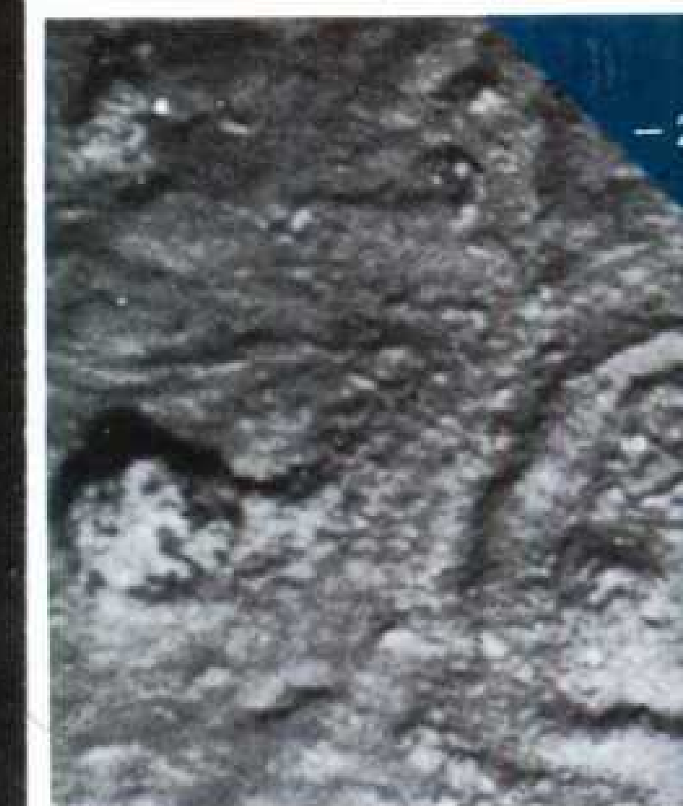
Los fondos abisales, que cubren las tres cuartas partes de la superficie del suelo oceánico, pueden ser descritos como vastos desiertos hiperbáricos, tenebrosos e isotermos, en los que la productividad biológica se reduce casi a cero. Pero las formas vivientes que logran resistir estas condiciones son tanto más apasionantes de estudiar.

Algunos animales de los abismos. *Las especies abisales siguen siendo poco conocidas, y los documentos fotográficos que los muestran son muy escasos. Aquí al lado: una pluma de mar (pennátula) en un fondo de guijarros del Pacífico sur. Abajo: crinoideos, esponjas y corales en el suelo del noroeste del Atlántico. En la página siguiente, arriba: en el cañón de Colorado, frente a las costas de California del Sur, una raya abisal sobrevuela unas holoturias y estrellas de mar. En la misma página, recuadro de la derecha: el cangrejo abisal* Geryon quinquidens, *sorprendido frente a las costas de Nueva Inglaterra. El grupo de pequeñas fotografías, en el centro de la doble página, muestra unas series de rastros debidos a organismos excavadores. En la página siguiente, abajo, a la derecha: un balanogloso en el lado oriental de la fosa de las Kermadec; el «serpentín» que deja tras de sí es debido a los residuos fecales que deposita.*











– 1100





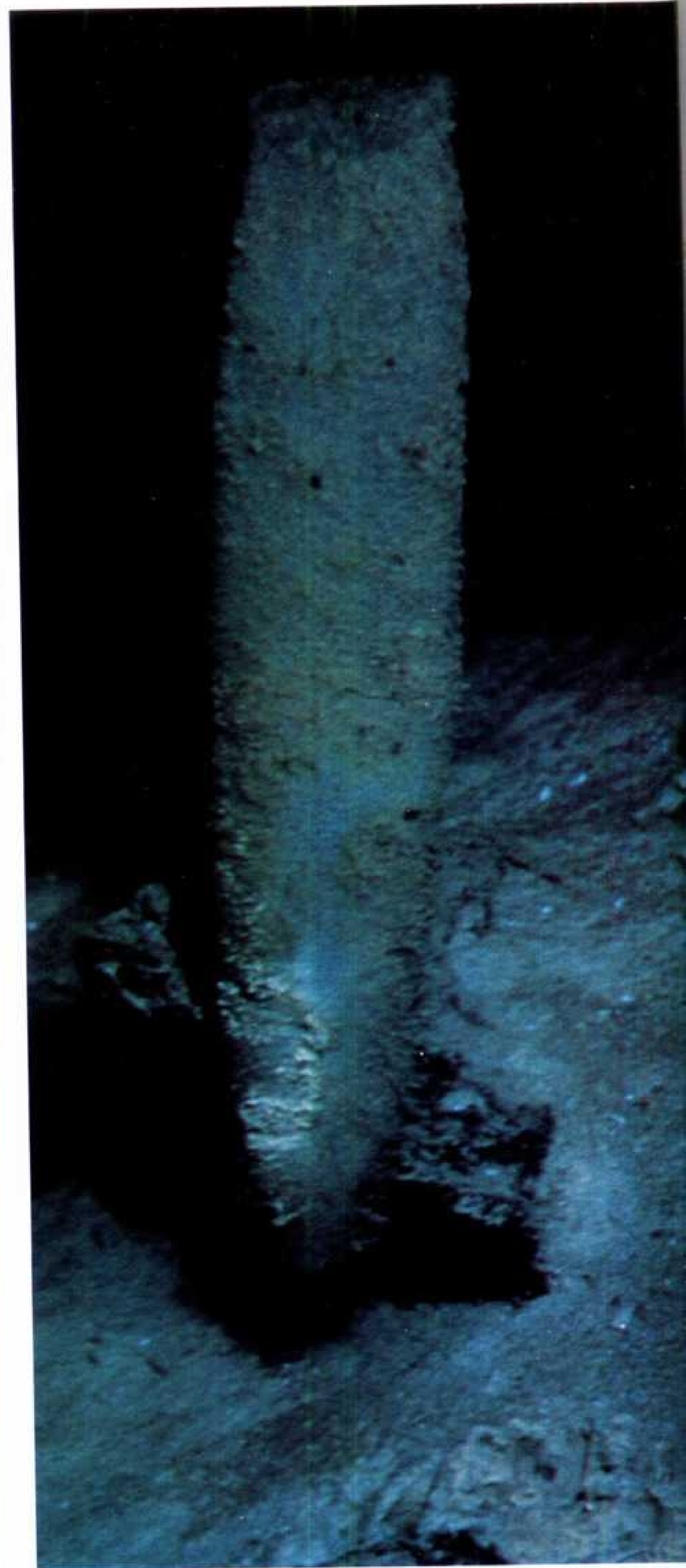




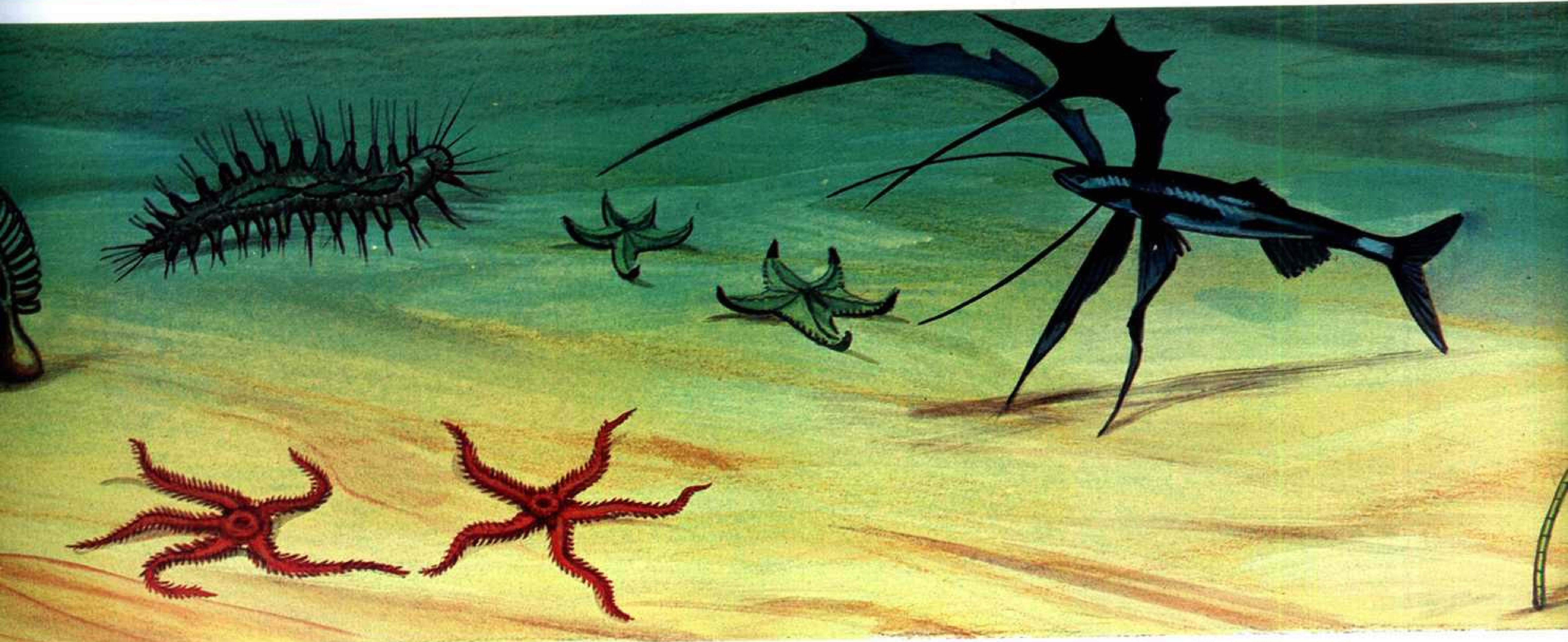


Ambientes poco variables

EL aislamiento convierte a los abismos en ecosistemas aparte. Los factores abióticos (no vivientes) que influyen en los ambientes naturales y los modelan con sus incesantes cambios, se muestran aquí muy estables: no existe la luz (por tanto, ni ritmos anuales ni circadianos); la temperatura se mantiene constante (no hay estaciones); la salinidad es igual (no se dan gradientes de salinidad ni animales eurihalinos). Las corrientes profundas, muy lentas, no modifican casi las facies del suelo oceánico, y los porcentajes de gases y de moléculas diversas en suspensión permanecen constantes. Estos factores abióticos no se transforman profundamente sino en las zonas de gran conturbación geológica, esto es, en las regiones volcánicas, y más en particular en las inmediaciones de la dorsal medio-oceánica. Es ahí donde se encuentran los famosos manantiales hipersalados calientes, donde unas bacterias quimiótrofas utilizan especialmente la energía química de los compuestos del azufre para producir moléculas orgánicas; estas bacterias permiten la existencia de redes alimentarias originales, agrupando gusanos, moluscos, celentéreos, peces... Tales ecosistemas constituyen sorprendentes excepciones (y, de momento, poco conocidas) a la regla según la cual los abismos son pobres en especies, en individuos, y más pobres en alimentos (oligotrofos). Entre los animales de los grandes fondos, los ofiuros (clase de los ofiuroideos) son bastante notables. Estos equinodermos se parecen a las estrellas de mar de brazos largos y frágiles (se les llama también «estrellas quebradizas» por esta razón). Son comunes en profundidades de 1.000 a 2.000 metros, y alcanzan corrientemente más de 3.000 metros (como los de la familia de los asteroníquidos).







Una fauna extraña. *En las fotografías de la página anterior: un pez no identificado, moluscos bivalvos y estrellas de mar; una esponja abisal del género* Hexactinella. *En las fotografías de esta página: una anguila de las grandes profundidades; una holoturia; una estrella de mar rodeada de sabelas. En el dibujo de abajo de la doble página se ha idealizado un fondo marino en el que pueden reconocerse, de izquierda a derecha: una holoturia; dos ofiuros rojos; dos estrellas de mar; un pez trípode; dos lirios de mar; dos comátulas; un picnogónido; un erizo de mar, y otra holoturia.*







Se arrastran por el fondo apoyándose sobre sus largos brazos flexibles, y devoran tanto animales bentónicos vivientes (larvas, pequeños moluscos, pequeños crustáceos) como detritos que caen de la superficie. Una de las especies más frecuentes es *Ophimusium plasium,* que alcanza de cinco a siete centímetros de diámetro. Muchos representantes de la clase poseen órganos luminosos (fotóforos), que atraen a las presas.

La clase de los holotúridos, o cohombros de mar, pertenecen también al *phylum* de los equinodermos, y cuenta con varios representantes en los abismos. Las holoturias de los grandes fondos encarnan quizá a organismos primitivos, que se parecen grandemente a sus antepasados del Paleozoico. *Laetgomone violacea* llega a los diez centímetros de longitud. Los equinodermos están presentes con diversos géneros de estrellas de mar, de erizos de mar y de crinoideos (o lirios de mar).

En el *phylum* de los artrópodos, los animales más extraños que frecuentan los grandes fondos son unas grandes gambas rojas (clase de los crustáceos, orden de los decápodos), como las *Funchalia,* que superan los diez centímetros; y sobre todo los picnogónidos: esos animales que constituyen una clase aparte, parecidos a cangrejos subidos sobre unas interminables patas articuladas. Entre los crustáceos se puede citar igualmente a los isópodos y los anfípodos.

Los moluscos, poco numerosos, son sobre todo lamelibranquios. Los gusanos anélidos parecen mucho más abundantes, especialmente los poliquetos. Los celentéreos apenas están representados por las anémonas de mar (actinias) y las gorgonias. Los pogonóforos viven en los tubos quitinosos que segregan.



Los monstruos

UNA de las mayores sorpresas que se llevaron Jacques Piccard y Don Walsh, cuando por primera vez tocaron fondo, en 1960, en la fosa de las Marianas, a unos 11.000 metros de profundidad, fue divisar, a la luz de los proyectores de su batiscafo *Trieste*, a un pez que se parecía un tanto a un lenguado.

La vida, incluso bajo una de sus formas más complejas —el *phylum* de los vertebrados— ha sabido adaptarse a los más hostiles ambientes. A profundidades del orden de 1.000 a 3.000 metros se encuentra *Regalecus glesne:* esos peces en forma de cinta que miden apenas cinco centímetros de ancho, pero que alcanzan más de 2,50 metros de largo, conocidos igualmente con el nombre vulgar de «rey de los arenques», aunque no tienen evidentemente nada que ver con los auténticos arenques, a los que apenas frecuentan... Les llaman así los pescadores, sorprendidos quizá por su aspecto extraño y sus colores rutilantes. El equipo del *Calypso* los ha encontrado en varias ocasiones. Uno rodeó una vez al platillo buceador que pilotaba Albert Falco, en el curso de una misión en la caldera inundada del volcán Thera (Santorín), en las Cícladas griegas.

Los peces linterna se parecen a los hachas de plata: de 10 a 20 centímetros de longitud solamente, cuentan con órganos luminosos. Las quimeras, parientes de los tiburones y de las rayas, pasean en las tinieblas sus estrambóticas siluetas, de gruesa cabeza cuadrada y cola puntiaguda: utilizan la boca protráctil para escarbar los sedimentos del fondo y extraer las presas. El pez trípode encarna a otro extraño ciudadano de los fondos: reposa sobre la arena o el fango, sosteniéndose sobre una especie de zancos constituidos por tres prolongaciones de sus aletas (dos de las aletas ventrales, una de la caudal).

En las páginas siguientes volveremos sobre los peces de los abismos. Pero ahora tenemos que decir algo de los moluscos cefalópodos. Las leyendas de los marinos hablan desde hace siglos de pulpos gigantescos, capaces de tragarse a hombres e incluso a embarcaciones enteras. Todo el mundo conoce el mito escandinavo del *kraken,* así como las historias de terroríficos pulpos que cuentan Víctor Hugo y Julio Verne. El primer testimonio científico de la existencia de grandes cefalópodos abisales se recogió durante la expedición del *Challenger* (1873-1876). Se cobró entonces un pulpo gigante, al que se llamó *Cirroteuthis magna,* desde una profundidad de 2.800 metros en el océano glacial Antártico, y otro más desde una profundi-

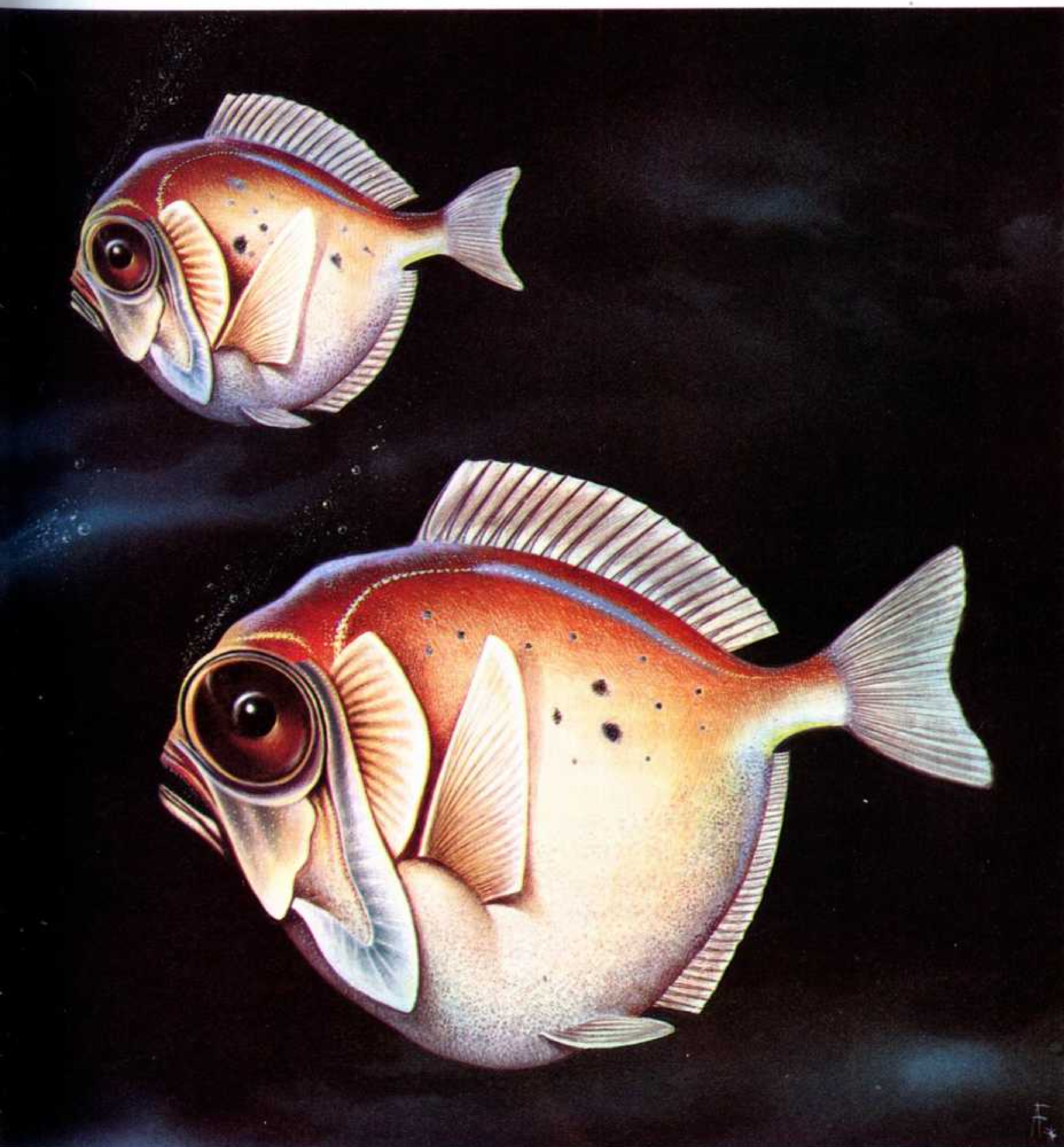




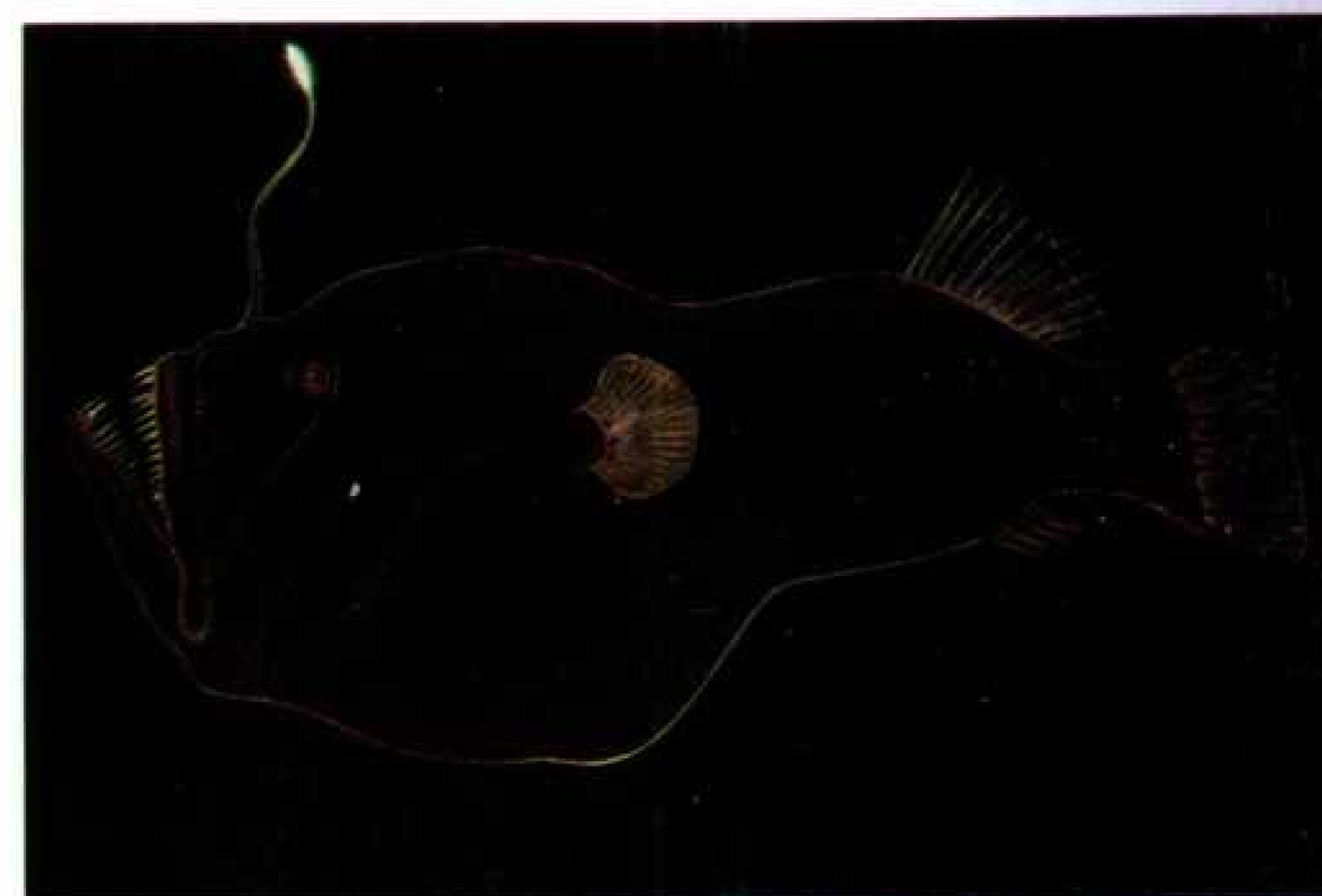
dad de 4.000 metros en el Pacífico Sur. Pero los reyes de las profundidades siguen siendo los calamares gigantes del género *Architeuthis*, de los que ya se han encontrado numerosos fragmentos, y de los que se sabe que constituyen, entre 800 y 1.200 metros de profundidad, una de las presas predilectas de los cachalotes. Estos moluscos cefalópodos son de color rojo a la luz del sol; pero su piel fosforescente emite un resplandor azulado en las tinieblas de los abismos. Trozos de cabeza y de tentáculos se han encontrado en diversas costas, a mar abierto y en el estómago de los cachalotes. Basándose en estos restos, los animales enteros deben de superar los 20 metros (incluidos los tentáculos) y las 40 toneladas.

Parece que son relativamente numerosos en los mares árticos, casi ausentes en las zonas intertropicales y poco abundantes en el Antártico.

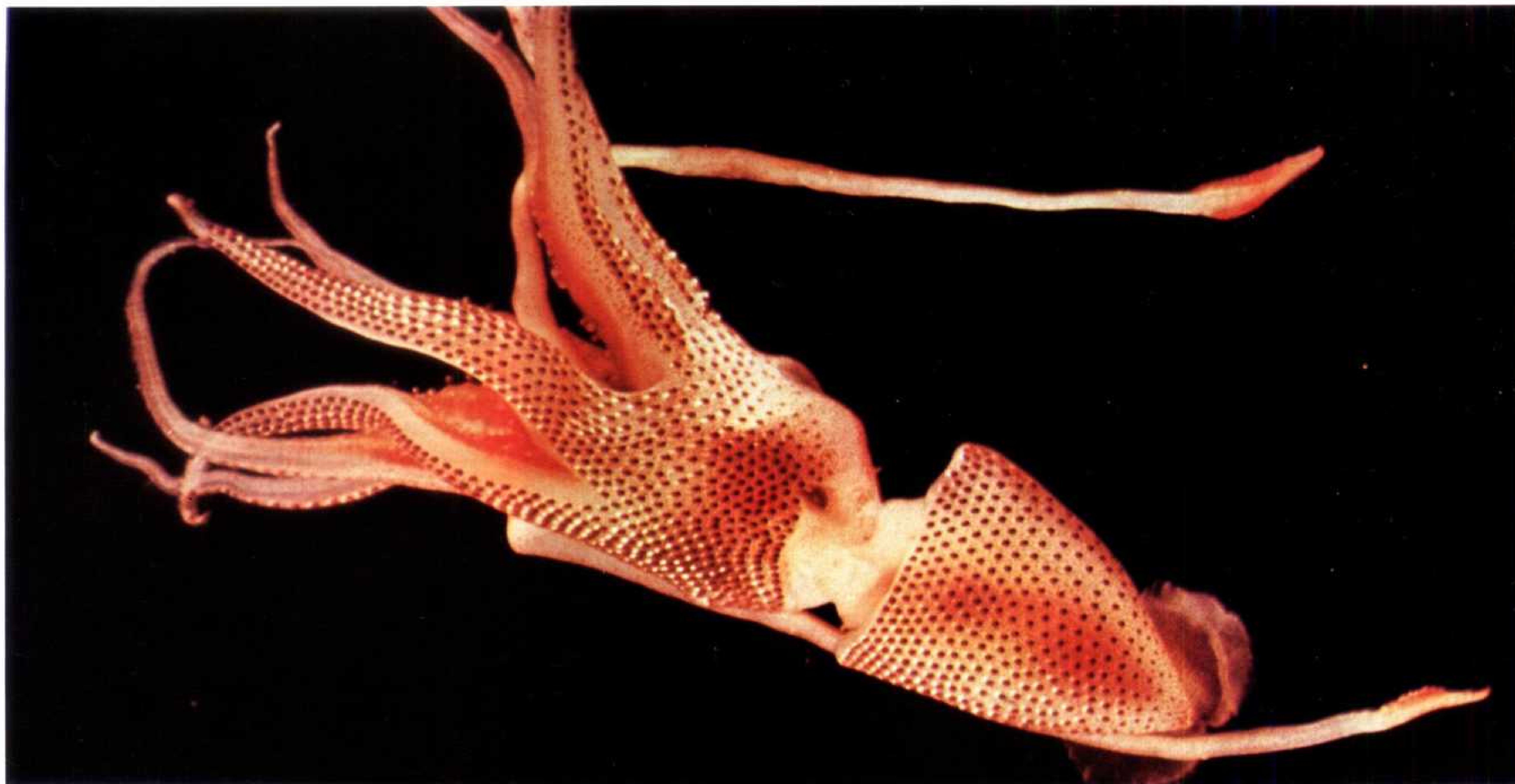
Sobrevivir en las tinieblas. *Arriba del todo: el «rey de los arenques»,* Regalecus glesne, *puede alcanzar los 2,50 metros de longitud. En la página anterior, abajo:* Phtostomias guernei *ataca a una gamba que emite una nube fosforescente para defenderse. En esta página, a la izquierda,* Diretmus argenteus. *Bajo estas líneas:* Saccopharynx ampullaceus *y* Melanocetus johnsoni.







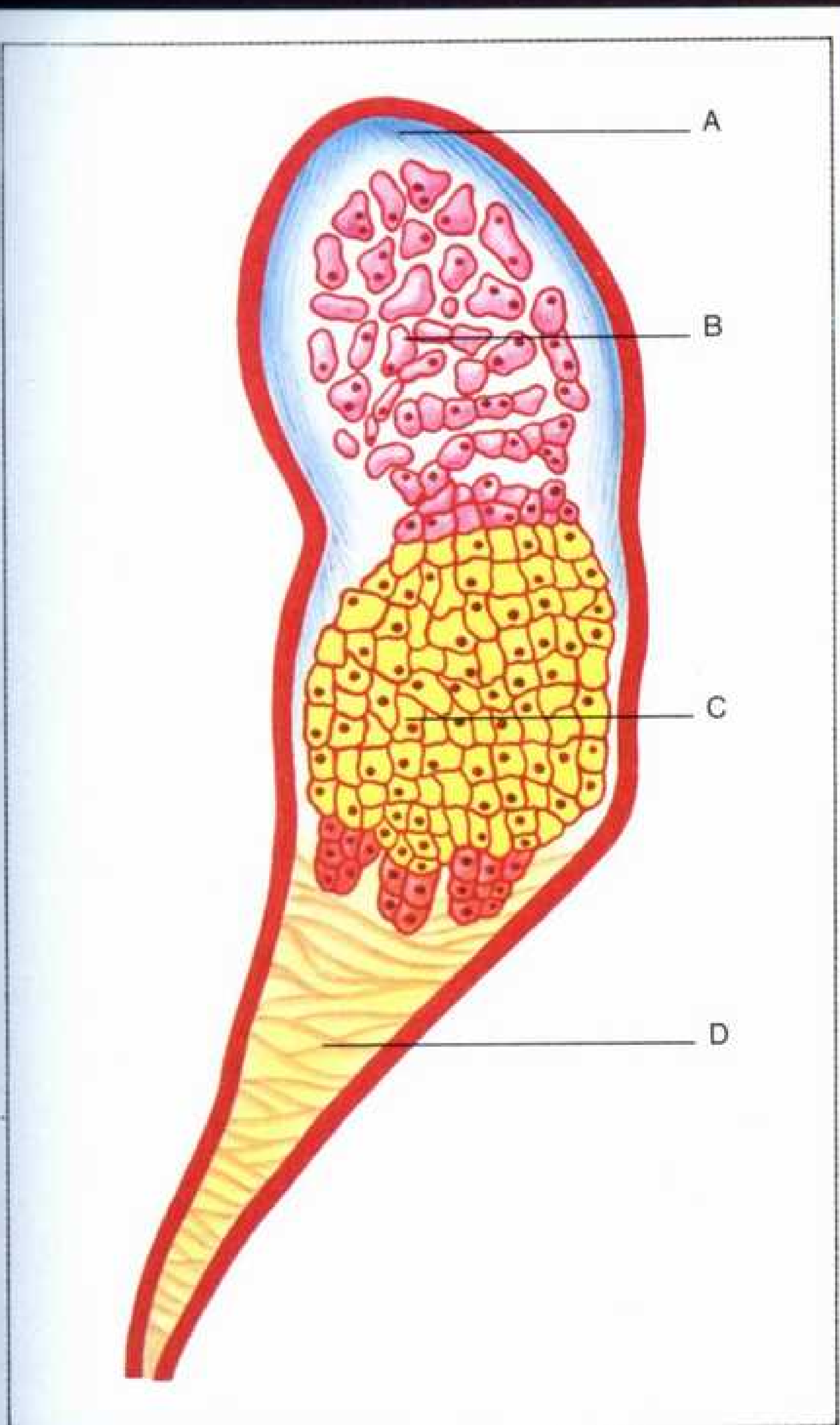
Productores de luz



La zona abisal corresponde a la mayor parte de lo que se llama región afótica (sin luz) del océano. En ella no hay planta que subsista, y los animales que por allí vagan viven consumiendo detritos, cadáveres caídos desde la superficie o de otros animales del biotopo. Los carnívoros que están situados en la cúspide de esta pirámide alimentaria muy breve representan modelos sorprendentes de adaptación. Sus formas monstruosas son para ellos la mejor garantía de supervivencia. Sin una boca desmesuradamente grande y sin un estómago anormalmente extensible, no podrían tragar presas prácticamente tan grandes como ellos mismos: ahora bien, la escasez de sus presas potenciales impone el tragarlas enteras cuando las encuentran, para poder aguantar hasta la próxima comida...
La inmensidad de la zona afótica (que constituye lo esencial del volumen del océano, pero que apenas alberga una mínima fracción de sus poblaciones vivientes) hace improbables no sólo los encuentros entre depredadores y presas, sino también entre los compañeros sexuales en el seno de cada especie. Algunos peces han resuelto este último problema de forma alucinante: en un tipo de peces pescador *(Ceratias holboelli)*, las hembras son unas 25 veces más grandes que los machos; estos, para estar seguros de no perderlas cuando las encuentran, se enganchan a ellas con la boca; progresivamente se sueldan a ellas, pierden los ojos, se les atrofian las branquias, el tubo digestivo y el sistema excretor. En una palabra, se transforman en parásitos, o, si se prefiere, en reservas de espermatozoides siempre disponibles para la madre ponedora.
Uno de los medios más corrientemente empleados por los animales de los abismos para encontrar a la pareja sexual es la emisión de señales luminosas. En la oscuridad absoluta, fabricar su propia iluminación constituye una apreciable ventaja. Para lograrlo, los organismos luminiscentes utilizan a menudo los servicios de bacterias simbióticas, capaces ellas mismas de producir fotones gracias a una reacción química reversible, basada en la degradación y la reconstitución de una proteína, la luciferina, bajo la acción de una enzima llamada luciferasa. Ciertos animales poseen ellos mismos células especializadas (fotóforos) donde se produce esta reacción.
Las señales luminosas permiten a la pareja sexual encontrarse en las tinieblas. Pero a veces les resultan fatales. En efecto, los depredadores no tardan en aprovechar esta argucia. Hasta hace poco se creía que el sentido de la vista era inútil en las profundidades afóticas, y que la mayoría de los animales de este biotopo estaban ciegos; pronto se advirtió, sin embargo, que la mayor parte en realidad ven bastante bien. Los depredadores divisan el resplandor de sus futuras víctimas, sobre las que se abalanzan prontamente. Algunos llegan hasta imitar los impulsos-respuestas del compañero sexual esperado por el animal que emite luz. Cuando éste se presenta, todo anhe-



Luces en la noche. *Un gran número de peces abisales son capaces de emitir señales luminosas. Así hacen el calamar y el pez que aparecen en esta página, o los hachas de plata del género* Argyropelecus *de la página siguiente. Las luces se deben bien a bacterias, que viven en simbiosis con los animales luminosos, bien a células especiales, llamadas fotóforos. En ambos casos se trata de una luz «fría», debida a la degradación (reversible) de una proteína llamada luciferina. Esta proteína es degradada bajo el efecto de una enzima llamada luciferasa: entonces es cuando tiene lugar la producción de luz —con un consumo mínimo de energía y sin radiación calorífica—. El esquema de la página siguiente es un corte de un fotóforo. Muestra en (A) la capa de células reflectoras; en (B), las células con luciferina; en (C), las células pigmentarias, y en (D), las células que hacen de lente.*



lante, para aparearse, una cruel sorpresa le aguarda. En cuanto a los peces pescador, disponen de un apéndice cefálico parecido a una caña de pescar con su cebo: los pequeños depredadores voraces se precipitan sobre este anzuelo y acaban en el estómago del pescador; ciertas especies de estos abismos han perfeccionado el sistema, puesto que poseen un filamento y un cebo luminosos. En una variedad de estos mismos animales, como decíamos más arriba, los machos, ridículamente pequeños, se sueldan a las hembras y se convierten, por así decir, en simples glándulas sexuales.

Cuando William Beebe alcanzó por primera vez los 900 metros de profundidad, en 1934, a bordo de su batisfera, quedó estupefacto por el número de animales luminosos que descubrió a esta profundidad. El informe que redactó de su exploración suscitó en este punto mucho escepticismo entre los científicos. Pero las inmersiones en batiscafo que siguieron, especialmente en los años cincuenta, confirmaron plenamente las observaciones del pionero de la exploración profunda.

Puede decirse que, desgraciadamente, desde hace unos veinte años apenas se ha avanzado en el estudio de la bioluminiscencia. Sin olvidar que la producción de luz fría —por reacción enzimática— podría interesar a nuestras sociedades derrochadoras de energía, parece sumamente extraño que un tema tan extraordinario no suscite en la comunidad científica el entusiasmo de numerosos investigadores.

Peces extraños

Los peces pescador de las profundidades, dotados de una «caña luminosa», pertenecen a la familia de los ceratoideos. Son criaturas extraordinarias por todos conceptos: la evolución los ha dotado de una verdadera herramienta; y, como ya lo hemos mencionado a propósito de *Ceratia holboelli,* su dimorfismo sexual es excepcionalmente importante.

Otras especies de ceratoideos disponen de señuelos luminosos. El filamento pescador (que los científicos llaman *illicium)* está situado directamente en la boca de una de ellas, a la que basta con cerrar las mandíbulas cuando la víctima ha «mordido». Otra especie, *Linophryne arboriphera,* enarbola una suerte de monstruosa perilla luminiscente, hacia la que se sienten atraídos los calamares y los pececillos.

Los peces abisales más conocidos pertenecen al suborden de los estomiatoideos, y a las familias emparentadas de los gonostomatideos, los idiacantideos y de los malacosteideos. Se trata de formas vivientes en las que se observan modificaciones del aparato digestivo, particularmente de la mandíbula y del estómago. Estos animales comen pocas veces, pues las presas disponibles escasean. Deben, pues, comer mucho cuando pueden. La evolución los ha hecho capaces de tragar víctimas tan grandes como ellos mismos, para lo cual cuentan con un estómago extensible que cuelga bajo ellos como una enorme bolsa cuando está lleno, y una boca de geometría variable, que les ha valido el nombre vulgar (y muy merecido) de «tragones», como el tragón negro *(Chiasmodon niger).* Cuando estos peces detectan a la presa se le echan encima con la boca abierta: su mandíbula superior se dobla parcialmente hacia atrás, y su mandíbula inferior, por un mecanismo de articulaciones ultraflexibles y de

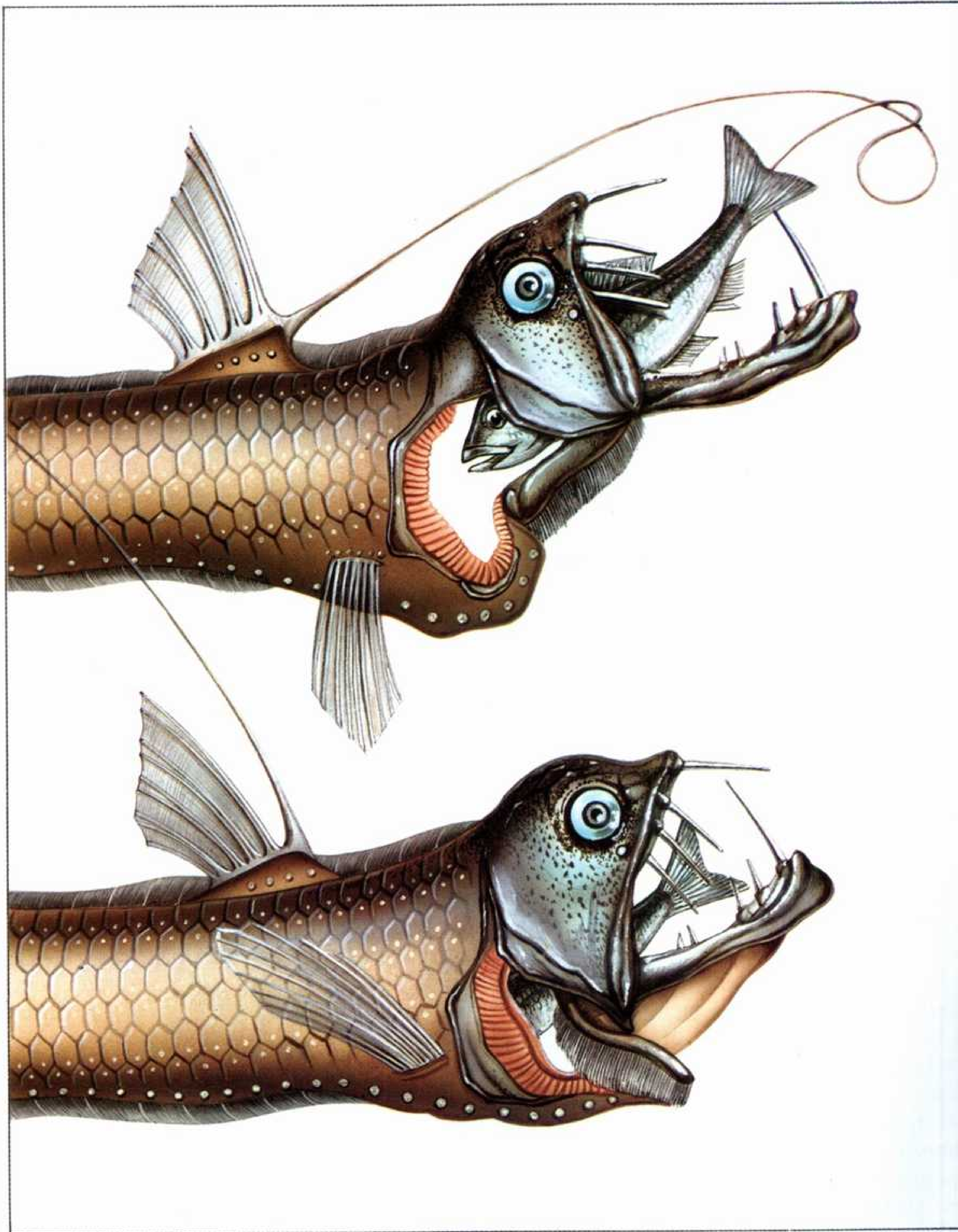


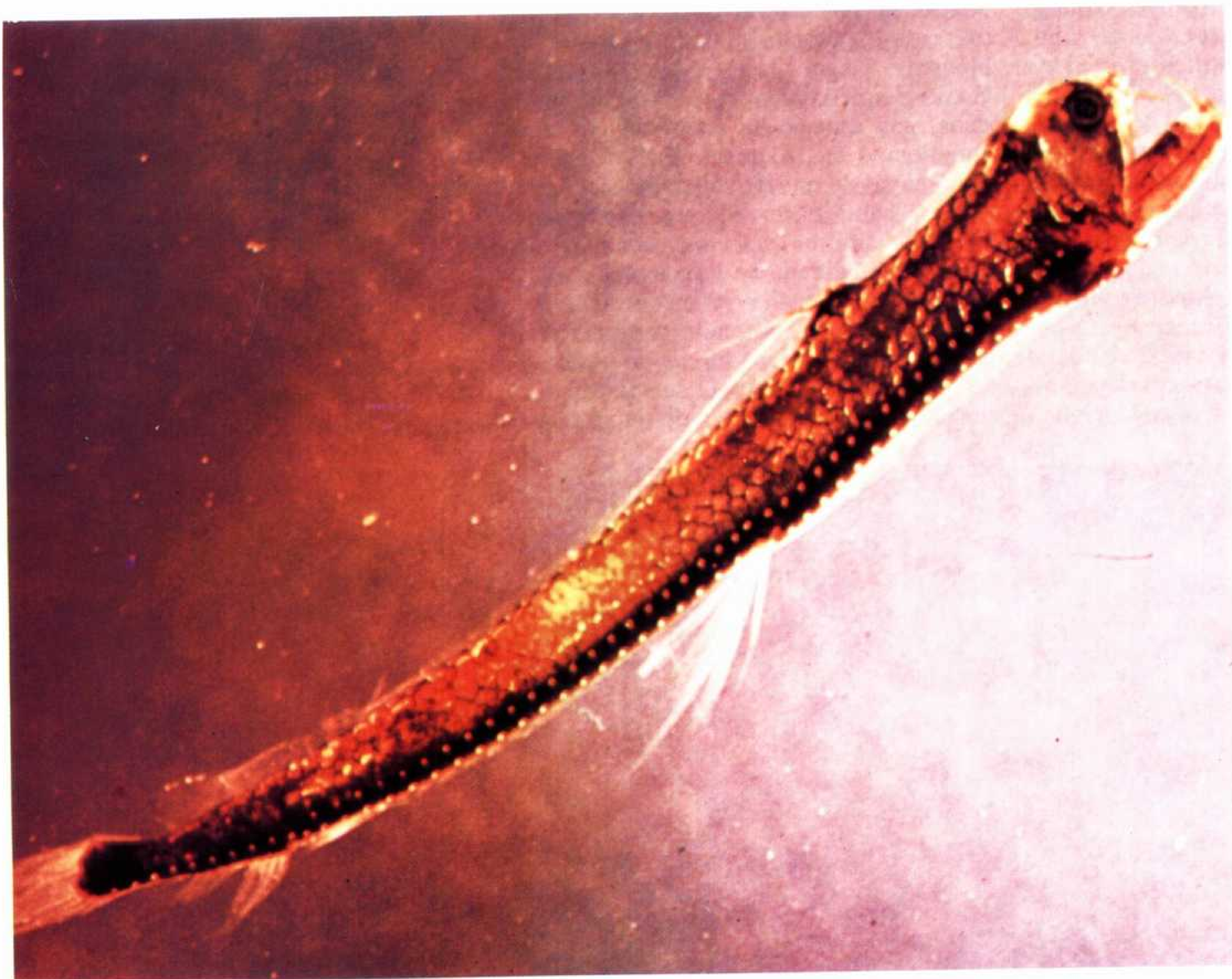
músculos extensores, se proyecta hacia adelante; las fauces se abren al máximo; la presa, a la que largos dientes impiden retroceder y escapar, pasa al vientre del carnicero.
Los gonostomatideos se encuentran entre los 100 y más de 3.000 metros de profundidad. *Gonostoma bathyphilum,* de color negro, posee grandes ojos de dilatada pupila. Cuando son jóvenes nadan en las aguas superficiales del Mediterráneo y del Atlántico *Cyclotone braueri* y *Cyclotone pygmaea;* pero en la edad adulta descienden hacia los abismos para no volver a subir nunca ya (salvo, excepcionalmente, en invierno). *Cyclotone obscura* presenta la característica de estar probablemente ciego.
En la pequeña familia de los idiacantideos, una especie ha guardado por mucho tiempo sus secretos. En 1898-1899, en el curso de una expedición oceanográfica, se había observado a un animal de cuerpo fusiforme y frágil, cuya porción cefálica se alargaba en largos pedúnculos al cabo de los cuales se encontraban los ojos. Nadie lo comprendía, y se llamó a esta criatura *Stylophtalmus paradoxus.* Sólo muchos años después se advirtió que se trataba de una larva, la de un pez cuya

Los tragones de las profundidades. *En los abismos escasean los recursos alimentarios. Para sobrevivir, los cazadores deben ser capaces de engullir grandes presas, para «aguantar» hasta la próxima comida. Mandíbulas y estómago están adaptados al efecto. Estos órganos son extraordinariamente extensibles.*

Abajo: dos fases de la captura y deglución de una presa por parte del pez demonio, Chauliodus sloanei. *En la fotografía de la página anterior: un pez* Gonostoma denudatum *acaba de capturar un camarón. Nótese la forma de los dientes, dispuestos en rastrillo, que sirven únicamente para retener a las víctimas.*







El pez víbora. *La víbora abisal* (Chauliodus sloanei) *habita los fondos de 1.000 a 2.000 metros. Se la encuentra en el talud continental del Atlántico, tanto del lado euafricano como del americano. El animal, de color gris azulado (esta fotografía tomada con flash es engañosa) posee a los lados hileras de fotóforos, que atraen a los peces pequeños. Este pez no es venenoso, pero se le llama víbora abisal por sus largos dientes en forma de agujas dobladas que le sirven para retener sus presas. En ciertas épocas del año, la especie lleva a cabo migraciones que la suben a 50 ó 100 metros apenas de la superficie oceánica. También se llama a veces pez víbora a la araña, escorpión o dragón marino* (Trachinus draco) *que, éste sí, posee espinas venenosas y vive muy cerca de la superficie; a menudo incluso habita en la arena de las playas.*

forma adulta se había descrito con el nombre de *Idiacanthus fasciola*.

Los peces abisales son todavía poco conocidos. Se pueden, no obstante, enumerar algunas generalidades al respecto: se sabe con seguridad de los gonostomatideos, por ejemplo, que son de pequeño tamaño; que su cuerpo alargado, cubierto de escamas poco gruesas, es muy frágil (se rompe espontáneamente si se le manipula sin precauciones fuera del agua); que su aleta dorsal, bien desarrollada, es casi simétrica de su aleta anal (mientras que las pectorales y las ventrales son reducidas). También, que sus órganos luminosos están distribuidos regularmente a los lados, hasta la cola (lo que los hace parecerse en la oscuridad a buques en miniatura, con todas las portillas iluminadas). Y que poseen otros fotóforos en la cabeza. Que sus ojos están dispuestos a los lados de la cabeza, ligeramente desorbitados. Pero apenas se pueden aportar más datos sobre su biología, su comportamiento, sus hábitos ecológicos o sexuales.

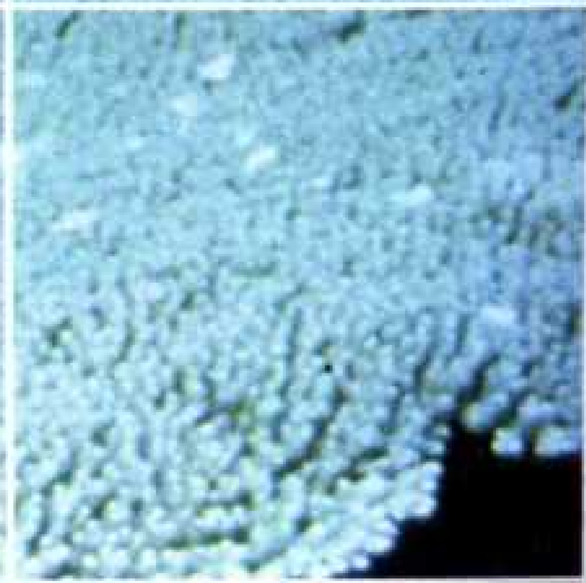
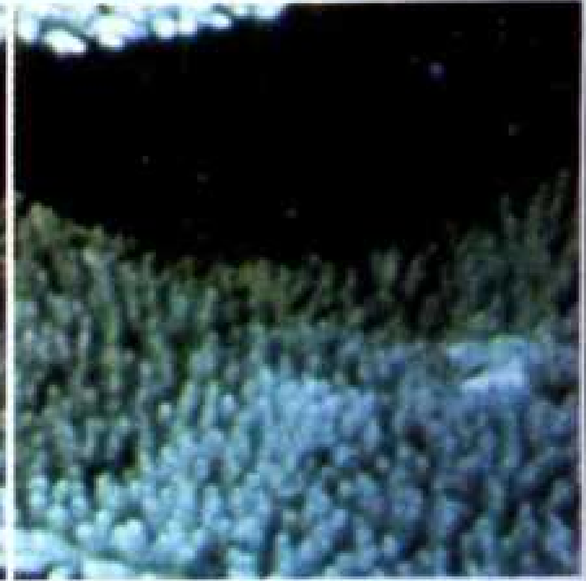
Uno de los gonostomatideos más fácilmente observable es el maurolico de Muller *(Maurolicus muelleri)*. El nombre del género de este animal procede del estudioso italiano Francesco Maurolico, quien, entre los años 1550-1575, estudió y describió a ciertos peces abisales del estrecho de Messina. En efecto, en este angosto paso situado entre Calabria y Sicilia, es tanto el vaivén de las corrientes, que en ciertas épocas del año suben a la superficie, o arrojan directamente a la playa, grandes cantidades de organismos procedentes de las capas más profundas del Mediterráneo. El maurolico de Muller posee espléndidas escamas verdeazuladas realzadas en plata, con reflejos nacarados en cabeza y vientre; pero estas magníficas tonalidades se desvanecen en contacto con el aire. El animal enarbola aletas pectorales y ventrales relativamente grandes (por lo menos para un gonostomatideo), y una dorsal alargada, a la que sigue una pequeña aleta no radiada —una aleta adiposa curiosamente semejante a la que tienen las truchas—. La caudal, bífida, muestra una profunda incisión mediana. El maurolico de Muller no es privativo del Mediterráneo: a veces se le pesca también, echando las redes profundamente, en todo el Atlántico Norte y en el océano Indico.

Dadas las condiciones ecológicas perpetuamente iguales (casi no han cambiado desde hace miles de siglos), los abismos constituyen una especie de museo viviente de la evolución. Ciertas especies han retrocedido desde hace mucho tiempo, pero allí se perpetúan al abrigo de las conturbaciones geológicas y climáticas que afectan a la superficie. Los hachas de plata del género *Argyropelecus*, por ejemplo, siguen siendo los mismos desde el Eoceno. *Argyropelecus glesne* pasea desde esa época su extraña cabeza plateada en forma de hacha en los fondos de 300 a 600 metros.





Las barreras coralinas


Las comunidades de constructores



Los arrecifes de coral constituyen uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra, pero también uno de los más complejos. La asociación de especies, bajo muy diversas formas, es constante y cada nicho ecológico está rodeado por muchos otros nichos, con los cuales se establecen múltiples relaciones. Las especies básicas de estas biocenosis son los celentéreos cnidarios coloniales, que designamos bajo el nombre genérico de coral, pero que pertenecen a varios grupos diferentes de animales. Muchas otras especies zoológicas, y también botánicas, se unen a los corales para formar el arrecife. Los corales designan, en el sentido estricto del término, a los celentéreos cnidarios de la clase de los antozoos (del griego *anthos*, «flor», y *zoon* «animal»). Se les llamaba antiguamente corolarios o actiniarios. Son celentéreos fijos (contrariamente a las medusas, por ejemplo) y coloniales. Están constituidos por una especie de saco cuyas paredes están formadas por dos capas celulares (ectodermo y endodermo); su cavidad gástrica se abre hacia arriba mediante una boca-ano rodeada de tentáculos. La clase de los antozoos se ha dividido en tres órdenes: los tetracoralarios, con cuatro tentáculos, vivían durante la era Primaria y han desaparecido totalmente en la actualidad; los octocoralarios están provistos de ocho tentáculos; los hexacoralarios poseen un número de tentáculos igual a seis o a un múltiplo de seis. Aunque los antozoos representan con diferencia a los principales constructores de arrecifes, otros muchos organismos participan activamente en esta construcción. Este es el caso de algunos celentéreos de la clase de los hidrozoos, llamados acertadamente hidrocoralarios (como el mileporino colonial *Millepora)*. También es el caso de muchos animales del *phylum* de los briozoos. No debemos olvidar el papel de las algas coralinas, o algas incrustantes, que pertenecen al gran *phylum* de las algas rojas (rodofíceas) y que acumulan mucho calcio sobre las paredes rocosas sobre las que se asientan. Por el contrario, no todos los antozoos son coloniales y construyen arrecifes. Entre los octocoralarios, los alciónidos son efectivamente coloniales, pero no poseen esqueleto, en los pólipos, sino sólo espículas calcáreas internas *(Alcyonium, Tubiporum,* coral rojo *Corallium;* coral azul *Heliopora)*. Los gorgonáceos (gorgonias) se disponen en colonias ramificadas como las ramas de un árbol, pero no construyen arrecifes. Los pennatuláceos *(Veretillum, Pennatula)* viven fijados en la arena.
Entre los hexacoralarios, los actiniarios, o anémonas de mar, no poseen esqueleto calcáreo. Los ceriantarios son grandes pólipos solitarios que segregan tubos membranosos en el interior de los cuales se refugian en caso de peligro. Los zoantarios forman pequeñas colonias y se asocian con otros animales (ermitaños, esponjas).
Por último, los principales responsables de la construcción de los arrecifes son los hexacoralarios del suborden de los madreporarios. Se parecen a las anémonas,

Los faraones del mar. *Al acumular sus esqueletos calizos día tras día, año tras año, siglo tras siglo, los corales constructores acaban por edificar monumentales estructuras, de las que da una idea la fotografía de esta página (se trata de la barrera coralina de las islas Fiji).*
Las especies de corales capaces de construir tales monumentos son muy numerosas; hay 35 en el Atlántico y más de 700 en la región Indo-Pacífica. El dibujo de la página de la derecha muestra la distribución de algunos madreporarios en un arrecife del Pacífico. Las fotografías de la página de la derecha dejan ver, de izquierda a derecha y de arriba abajo: una gorgonia amarilla, un coral del género Acropora, *o cuerno de ciervo; pólipos del género* Tubastrea; *una gorgonia roja, y la parte superior de un alcionario fungiforme.*

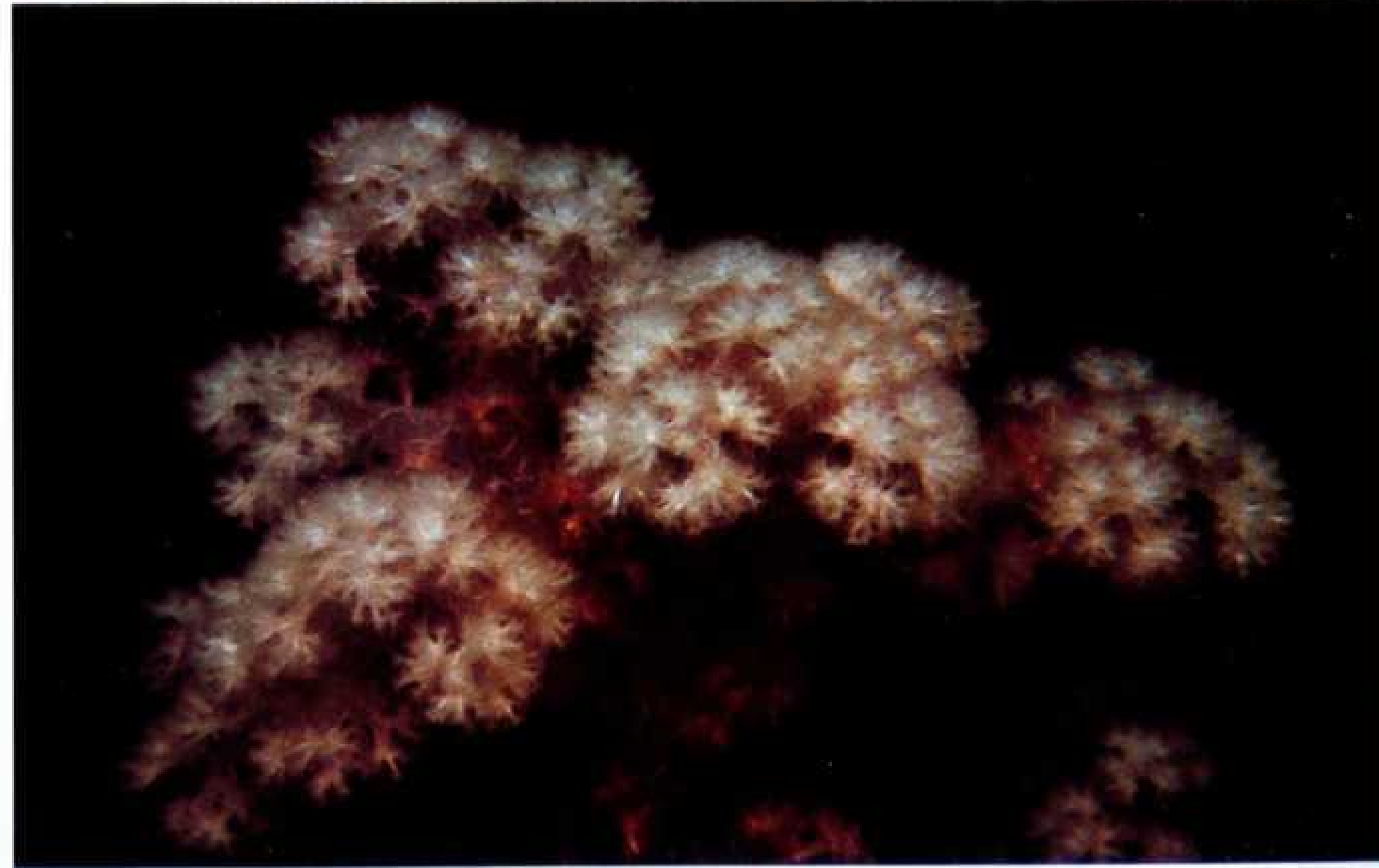


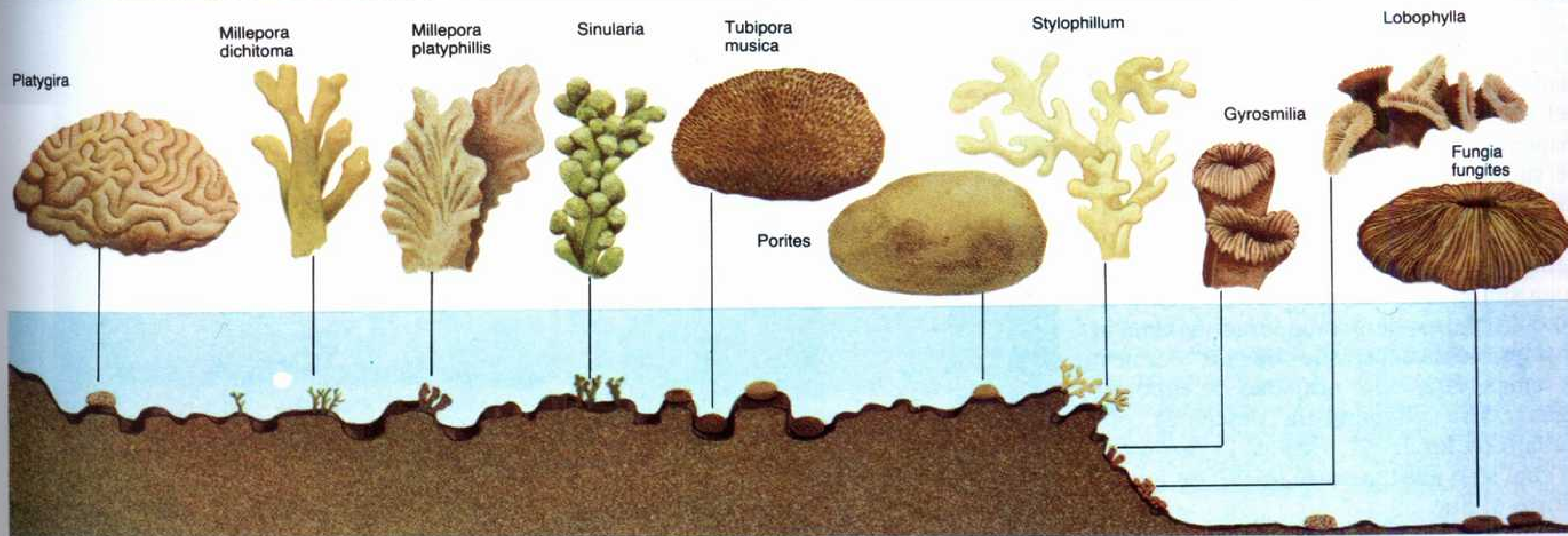











Platygira
Millepora dichitoma
Millepora platyphillis
Sinularia
Tubipora musica
Porites
Stylophillum
Gyrosmilia
Lobophylla
Fungia fungites

pero se diferencian de ellas por su esqueleto externo, segregado por el ectodermo. Cada animal vivo de la colonia, es decir, cada pólipo, está fijado sobre un cáliz que cubre como el dedo de un guante.

Para comprender el proceso de construcción de un arrecife hay que seguir las etapas de la vida de una colonia de madreporarios. La larva del animal, de tipo plánula, se desarrolla en la cavidad gástrica de su madre. Sale de ella para fijarse sobre un soporte rocoso, en el que se compartimenta, adquiere sus tentáculos de adulto y empieza a segregar un soporte calcáreo, sobre el que se eleva. El pólipo inicial empieza rápidamente a cubrirse de brotes y a diversificarse longitudinalmente (yemas y esciparidad constituyen dos tipos de reproducción asexual). La colonia crece rápidamente: el pólipo madre da lugar a pólipos-hijos, que producen a su vez pólipos-nietos... Las secreciones calizas se unen para formar un polípero, estructura sólida de forma variable según las especies. Algunos pólipos son machos y otros hembras; los espermatozoides de los primeros, liberados en el agua, se unen a los óvulos en la cavidad general de estas últimas. Dan lugar a huevos (oozoides), de los que salen las larvas plánula que podrán fijarse sobre el soporte rocoso para crear nuevas colonias.

Los madreporarios, al ser los principales corales constructores de arrecifes, son también llamados hermatípicos (del latín *herma,* «monumento»). Se alimentan de pequeñas presas que capturan con sus tentáculos (que, como en todos los cnidarios, están provistos de células urticantes o cnidoblastos). Los pólipos desarrollan su mayor actividad durante la noche.

Los corales no pueden establecerse a grandes profundidades ni en aguas turbias. Este hecho se debe a que viven en simbiosis constante con algas pardas unicelulares, las zooxantelas. Estas, al realizar la fotosíntesis, extraen dióxido de carbono del agua y expulsan oxígeno, utilizado por los corales que les protegen. Los pólipos se alimentan de las algas, aunque sus jugos gástricos son poco apropiados para la digestión de la celulosa y del almidón. Las zooxantelas les son indispensables por muchas razones: además de su acción de purificación de los gases disueltos, les libran de sus desechos metabólicos, en especial de los residuos nitrogenados y fosforados.

Esta simbiosis establece prácticamente en 30 ó 40 metros de profundidad máxima la frontera del desarrollo de los corales. Además, éstos son incapaces de soportar aguas cuya temperatura desciende por debajo de los 18 °C. Esta es la razón por la cual sólo existen entre los 37° de latitud Norte y Sur.

Delfín
Barracuda
Atún
Pez cofre
Pez zorro
Mero
Morena
Pez zorro con peces pilotos



Barracudas

Pez loro

Anémonas

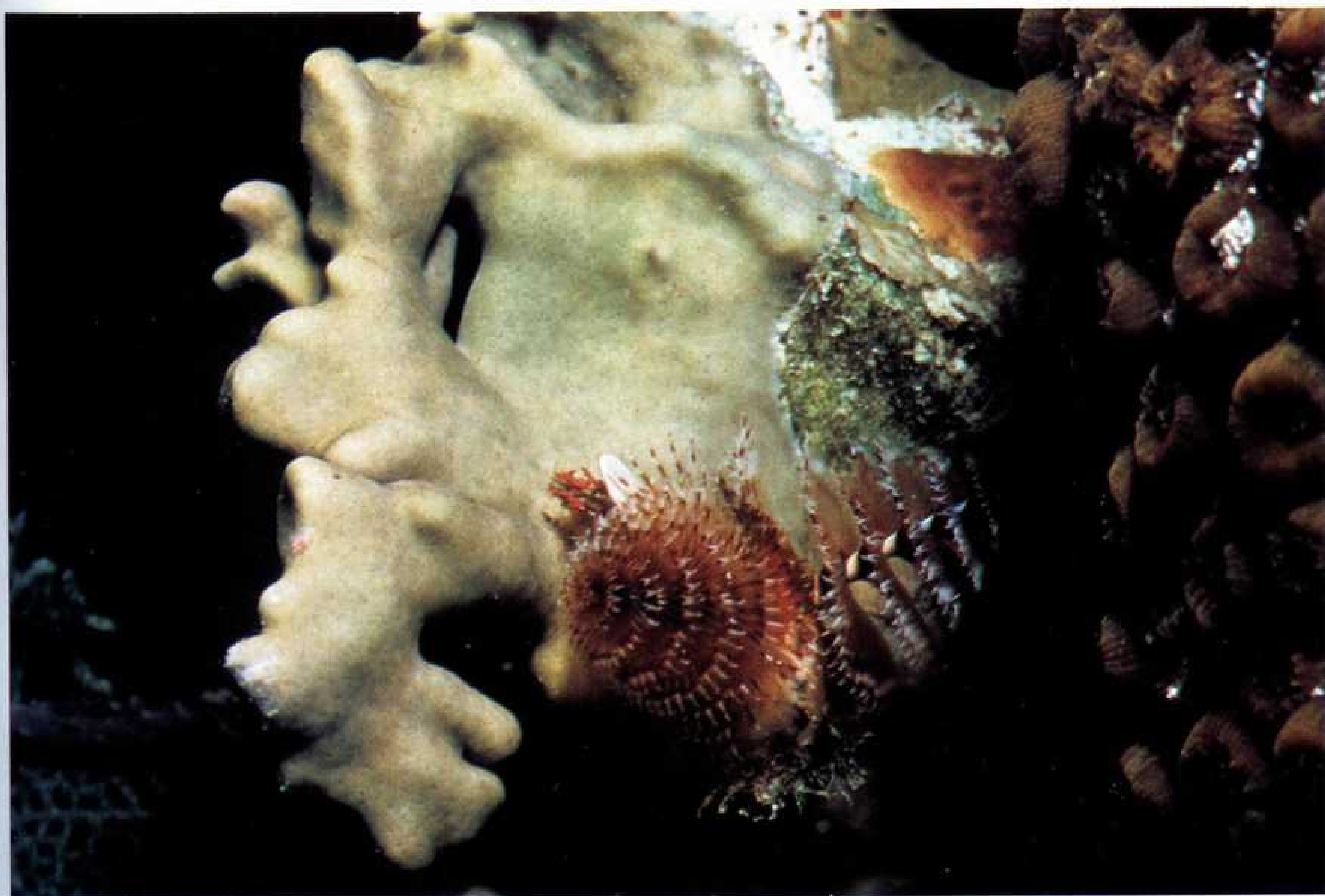
Manta raya

Balista

Estrella de mar

Tridacna

Raya común



Una comunidad rica y compleja. *Los corales y las algas incrustantes constituyen el marco para la existencia de numerosas especies de esponjas, anélidos, moluscos, crustáceos, equinodermos y peces. Maravilloso universo en el que las relaciones de interdependencia unen de un extremo a otro de la cadena alimentaria a las algas unicelulares con los grandes tiburones... La fotografía de la página de la izquierda nos muestra lábridos y damiselas azules. La que aparece en esta página presenta una esponja y, junto a ella, bonitos anélidos espirógrafos con el penacho de tentáculos desplegados.*

Las algas coralinas

EN el transcurso de su célebre viaje alrededor del mundo a bordo del *Beagle,* Darwin se interesó por los corales: tendremos ocasión de volver a verlo. Observó, por ejemplo, que en todos los arrecifes de gran tamaño había aristas más elevadas que otras, compuestas por una costra de carbonato de calcio. Atribuyó este tipo de depósitos a un género de algas unicelulares que llamó *Nullipora.* De hecho, las algas incrustantes pertenecen en su mayoría al género *Lithothamnium.*

Constituyen una familia perfectamente individualizada de algas rojas *(phylum* de las rodofíceas) de la clase de las florideas, y que se reagrupan bajo el nombre evocador de coralináceas. Incluyen especies cuyos tejidos fuertemente calcificados constituyen costras con mamelones o masas más o menos ramificadas sobre las rocas. Hay varios géneros. Además, de *Lithothamnium,* ya citado, debemos mencionar a *Archaeo lithothamnium* (que encontramos prácticamente igual a sí mismo en las costas actuales y en forma fósil en los terrenos que se remontan al Cretácico). Los demás géneros importantes son *Lithophyllum, Melobesia, Porolithon* y *Corallina.* No todos son típicos de las aguas tropicales, pero sólo en ellas crecen abundantemente.

Mientras que los corales mueren si se les expone durante un período prolongado a la luz directa y al calor del sol, las algas son mucho más resistentes. Esta es la razón por la cual consiguen edificar en la cima de los arrecifes esos «relieves continuos, lisos y convexos, como diques artificiales» (Darwin).

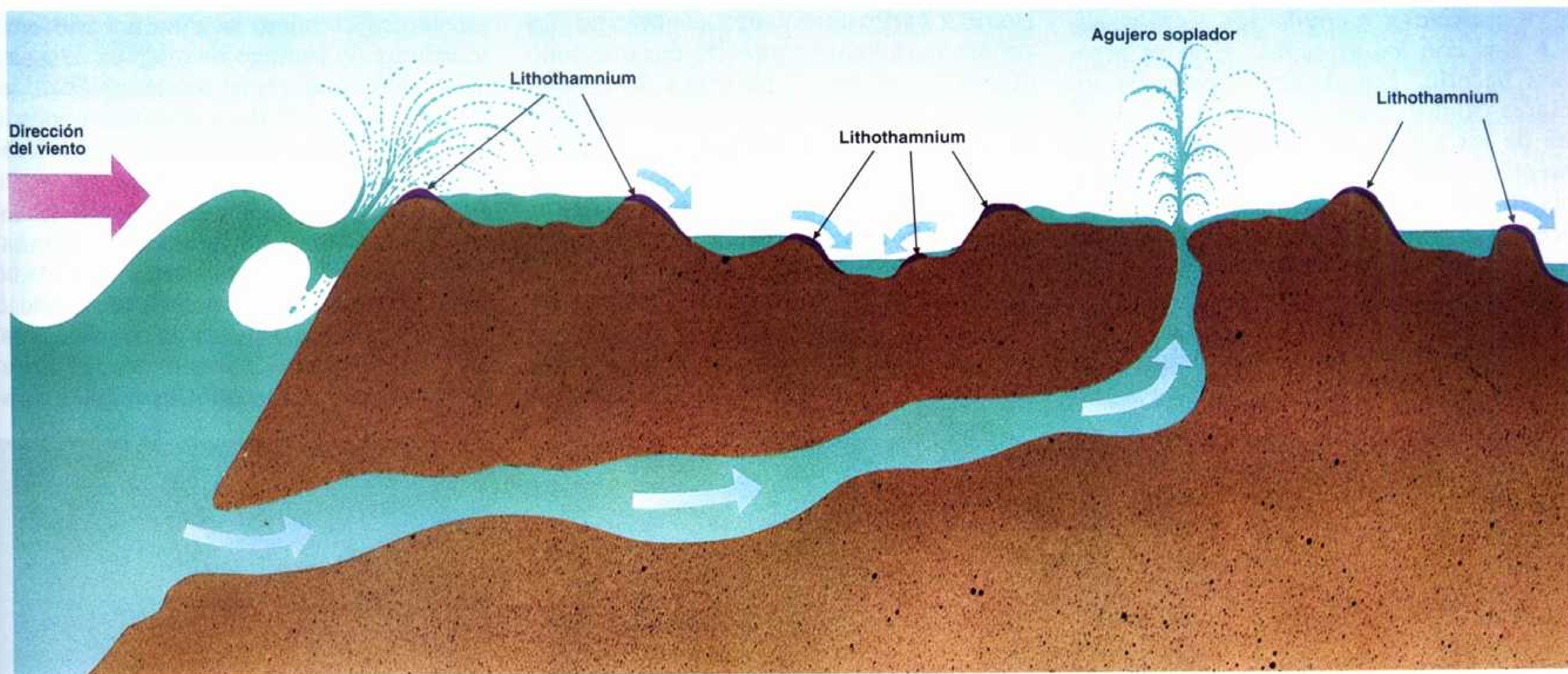
Cuanto más se estudian, más se observa que estas algas incrustantes desempeñan un papel importante en la economía de los arrecifes. Al cubrir la cumbre de los arrecifes, protegen a estos edificios de la acción erosiva de las olas y del viento. Aglomeran fuertemente entre sí a las diferentes masas madrepóricas superficiales. En otras palabras, juegan el papel del cemento.

Darwin escribía: «Nada resulta más curioso, en la marea baja, que estos paneles de roca desnuda, que podrían considerarse murallas especialmente diseñadas para resistir a las olas, y que superficialmente se parecen también a olas espumosas.»

Los corales que crecen por debajo del nivel de la bajamar toman una forma generalmente arqueada. Se organizan en grandes estructuras con aspecto de castillo. Pero sus murallas están muy lejos de ser impermeables: los pasillos sinuosos que en ellas se abren permiten a las olas llegar, durante la marea alta, hasta el interior de la barrera coralina.

Pueden existir igualmente, bajo algunos bloques de coral, túneles por los cuales el





Las incrustaciones. *Las regiones del arrecife de coral que permanecen al descubierto en la marea baja no son favorables al crecimiento de los celentéreos. Son colonizadas por algas incrustantes que consolidan la cumbre del edificio (al lado y abajo). Página de la izquierda: un agujero soplador en plena acción. Arriba: esquema explicativo del fenómeno.*



mar se precipita y que desembocan al aire libre, muy lejos del frente del arrecife: las ondas líquidas se propagan en ellos a gran velocidad, y el agua surge en ruidosos penachos.

El fenómeno es tan evocador que se llama a los orificios de estos túneles «agujeros sopladores», sin duda por alusión al soplo de las ballenas.

Las algas incrustantes se aprovechan de esta agua que penetra en el coral. Crecen a veces sobre las crestas de los arrecifes situados muy por detrás de la cresta frontal en la que se encuentran normalmente. Es una de las formas que tienen de extender su espacio habitable.

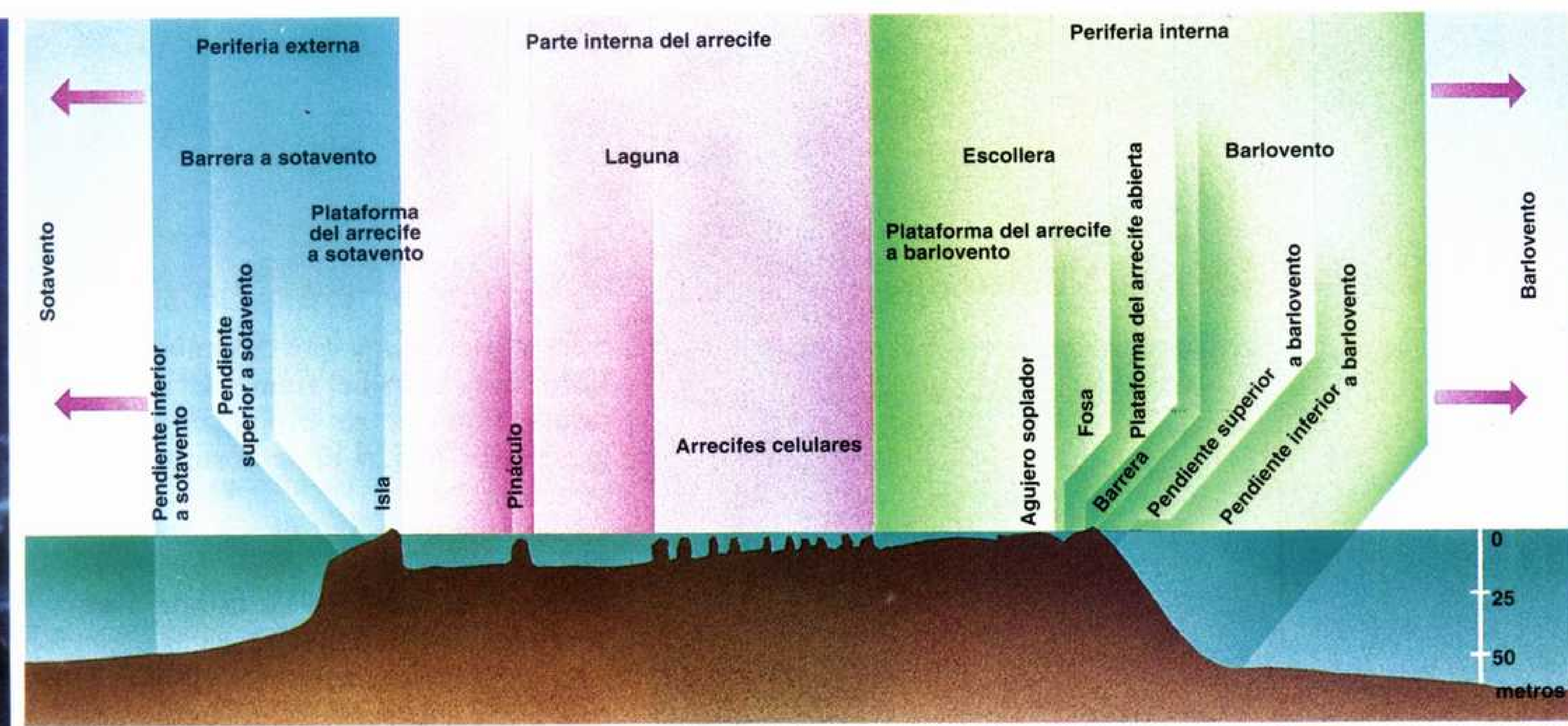


Los escalones del arrecife

Se asocian a menudo los vientos alisios con los arrecifes, y no es erróneo hacerlo. Los corales crecen en los mares cálidos, preferentemente en la zona de los alisios. Estos vientos, generalmente regulares, soplan del nordeste hacia el sudoeste en el hemisferio Sur. En el océano Pacífico, los alisios son muy «fieles». En el Atlántico y en el Indico faltan durante algunos períodos del año.

En las regiones de alisios constantes, los arrecifes coralinos tienden a adquirir una estructura particular. Se distingue un frente a barlovento y otro a sotavento. La zona a barlovento sometida durante todo el año a la acción de las olas y de sus embestidas, toma el aspecto de una sucesión de pilares y de murallas verticales muy robustas: el movimiento del mar estimula el crecimiento de los celentéreos (y de sus coronas de algas incrustantes). La región a sotavento se asemeja, por el contrario, a una sucesión de crestas de contornos suaves y de geografía muy compleja. Ocurre habitualmente que el arrecife constituido de esta forma adquiere una estructura circular: la zona a barlovento se refuerza y protege una laguna de aguas tranquilas, que otros corales pueden cerrar parcial o totalmente en la región a sotavento. Nos encontramos entonces ante un atolón.

El modo de formación de os atolones intrigó durante mucho tiempo a los naturalistas. Estas estructuras surgen en medio de regiones del océano cuya profundidad alcanza 1.000, 2.000 metros o incluso más. ¿Cómo pudieron nacer estos edificios, teniendo en cuenta que los corales cons-

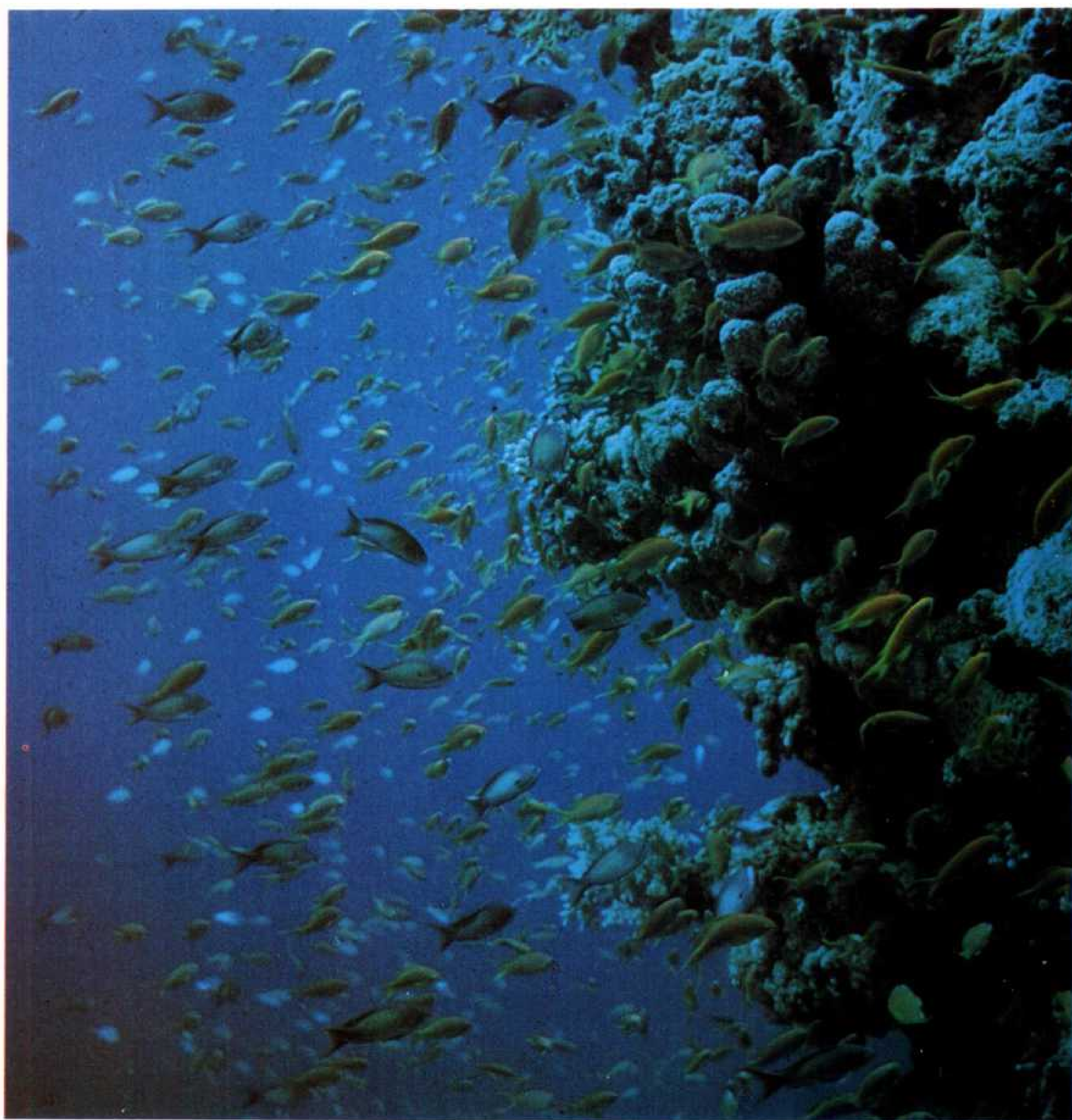


tructores mueren en su mayoría por debajo de los 30 ó 40 metros de profundidad? El primero en formular una respuesta adecuada fue Charles Darwin: Evidentemente, dice el gran naturalista inglés, los «faraones del mar» construyen sobre volcanes marinos. Pero esto no es tan simple. Si bien ya ha sido comprobado que todos los atolones tienen una base de rocas plutónicas, se observan, no obstante, zócalos de corales a varios centenares de metros bajo la superficie. ¿Cómo se encuentran a tales profundidades? Darwin demostró que esto puede ocurrir de dos maneras. En algunos casos, los restos de corales provienen de una actividad biológica de superficie, que tuvo lugar hace muchos siglos, durante una fase de regresión marina, es decir, durante una glaciación, en un período en el que el nivel general del mar se hallaba a 50, 100 o hasta 170 metros por debajo del actual. En otros casos —los más numerosos—, la explicación es de tipo mecánico. Un volcán submarino acumula sus depósitos eruptivos hasta alcanzar la superficie. Los corales pueblan entonces el contorno del cono y empiezan a edificar el arrecife. Su peso alcanza rápidamente tal magnitud que provoca el asentamiento del volcán; los corales inferiores son llevados a profundidades que les impiden la supervivencia.

Todos los arrecifes coralinos no pertenecen al tipo volcánico. Algunos —los más majestuosos, como la Gran Barrera australiana o el arrecife de Belice, en el mar Caribe— están edificados en los bajos fondos de la plataforma continental. Se pueden asemejar a los arrecifes en flecos que encontramos en las cercanías de algunas grandes islas, como la de Nueva Caledonia. Estas edificaciones marinas resultan de la acumulación de caliza coralina sobre zócalos compactos. No provocan el derrumbamiento periódico de su soporte, como los atolones de base volcánica. Su estructura depende mucho menos de los vientos dominantes que de la geología local. Generalmente están formados por una alternancia de espesos pilares de cinco a 20 metros de anchura, y de canales radiales, de uno a 10 metros de anchura. Estos canales, que pueden alcanzar decenas de metros de longitud, tienen una pendiente de unos 20°. Permiten al agua oceánica penetrar dentro del arrecife.



Las diferentes zonas del arrecife. *El esquema de la página de la izquierda muestra cómo se organiza el arrecife de coral en función de la dirección de los vientos dominantes. A barlovento, la pendiente es fuerte y la acción de las olas muy brutal. La laguna, bien protegida, alberga una fauna y una flora muy particulares. A sotavento, la pendiente del coral es más suave. A la izquierda: peces mariposa nadando sobre un gran-campo de corales en paraguas del género* Acropora. *Abajo: peces cirujano pasan ante la pendiente de un arrecife a barlovento.*



Las plataformas coralinas

LAS plataformas coralinas están lejos de ser llanas. Formadas por arrecifes en flecos, están en gran parte descubiertas, y podemos saltar de un bloque de coral a otro, salvando canales de aguas poco profundas. Sin embargo, un ejercicio de este tipo no está exento de riesgos: algunos políperos cortan como cristales y es conveniente no caerse...

De manera general, las plataformas coralinas pueden dividirse en las siguientes zonas características (empezando por barlovento):

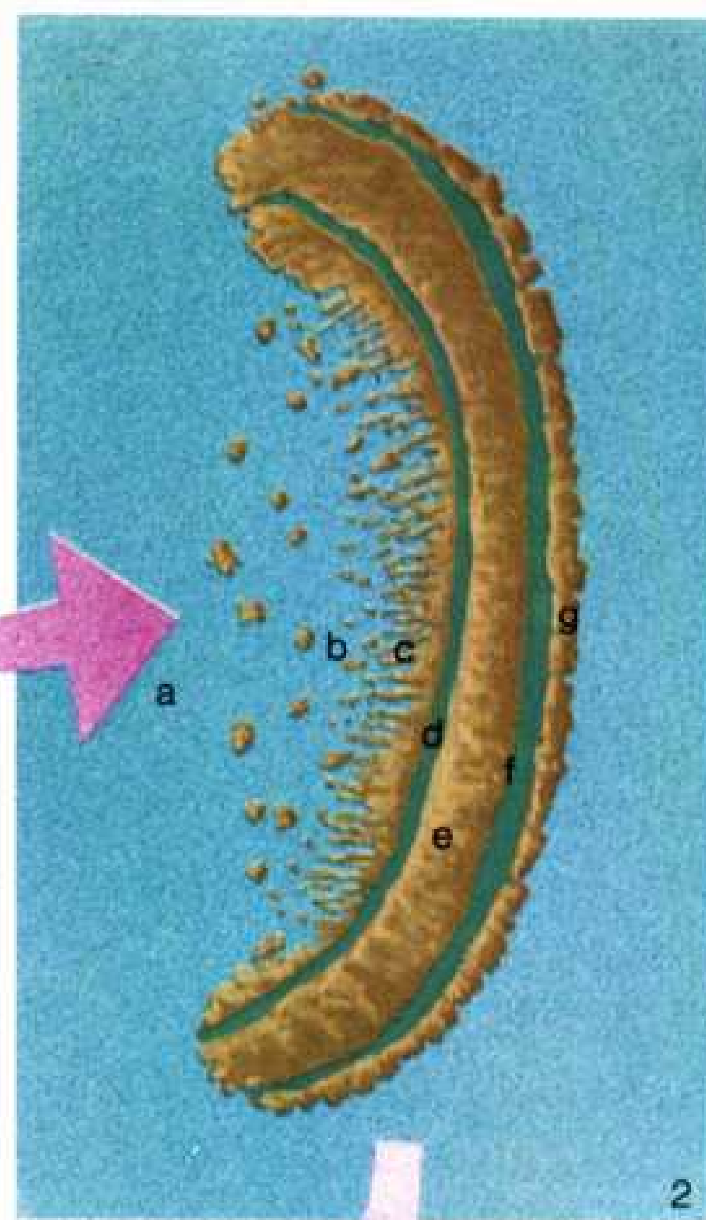
1. La zona de los contrafuertes y de los canales radiales. Es aquí donde el coral crece más rápidamente, hasta el nivel de la bajamar de las grandes mareas de equinocio. Forma sólidos pilares, separados por canales radiales en los que penetra la onda líquida para llegar al centro de la plataforma.
2. El canal externo: es la prolongación de los contrafuertes de la plataforma, y se debe a los torbellinos de las olas que golpean a la muralla coralina. De una profundidad de uno o dos metros, tiene una anchura muy variable. Está forrado por varios tipos de corales constructores y de numerosas algas incrustantes.
3. La cresta del arrecife, o dobladillo de *Lithothamnium*. Es la zona de crecimiento principal de las algas coralinas. Los *Lithothamnium* y sus parientes abundan desde la línea de nivel medio de las mareas, y forman en el frente del cuerpo central del arrecife un escudo protector, muy eficaz frente a la acción destructiva de los ciclones y de las poderosas olas de las tempestades.
4. El canal interno. Se trata de un segundo canal paralelo a la línea del frente del arrecife y cuya función principal es el drenaje de agua excedente. Su profundidad media es de 80 centímetros. Está forrado por corales especializados en el «aprovechamiento» de las aguas poco profundas y muy iluminadas, como algunos representantes del género *Acropora*, cuyo nombre vulgar de «cuernos de ciervo» describe su aspecto general. El canal interno, de aguas muy oxigenadas y relativamente tranquilas, es un paraíso para los peces (peces mariposa, peces cirujano, peces ángel, etc.), para las conchas, para los moluscos nudibranquios, en una palabra, para las joyas de los mares del Sur.
5. La zona de arena. Se trata de una franja de terreno de anchura variable, formada (como indica su nombre) por arenas de origen coralino, acarreadas hasta allí por las tempestades, y mezcladas con fragmentos de políperos de todas las dimensiones en tales cantidades que emergen y forman un islote.

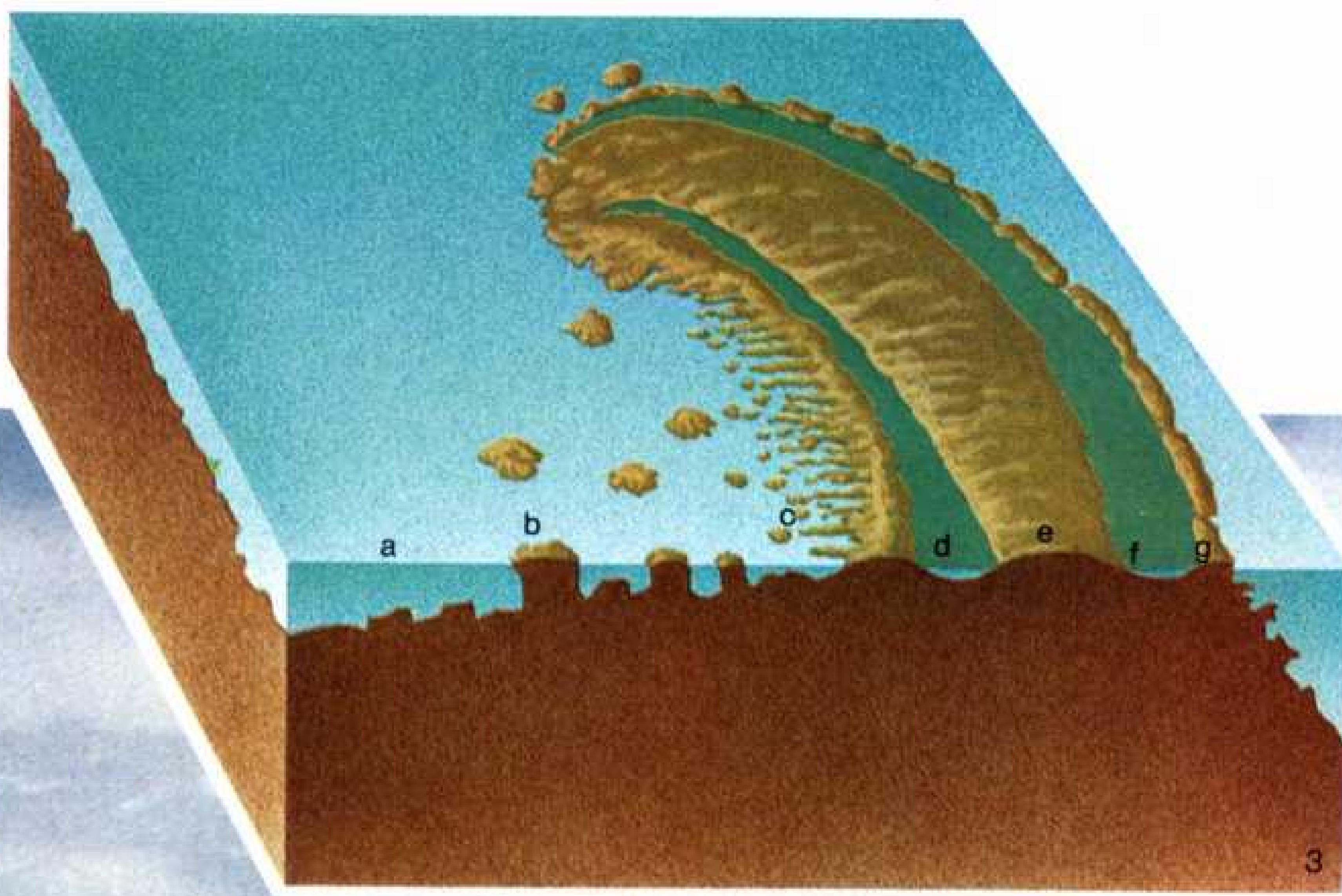
No es raro entonces ver cómo los vegetales (sobre todos los resistentes y omnipresentes cocoteros) intentan colonizarlos; a veces lo consiguen de forma permanente; en otras ocasiones son barridos por un ci-



__Una típica barrera de coral.__ A pesar de grandes variaciones individuales, todas las barreras coralinas presentan una estructura común. En los esquemas adjuntos vemos en (1) la forma general de la barrera, con su canal externo e interno; en (2), detalle de un arrecife de la barrera exterior; en (3), el mismo detalle, presentado en elevación para apreciar mejor sus partes. Encontramos sucesivamente, partiendo de la región a sotavento, el canal interno (a), la región de los pináculos (b), una zona de arenas y de detritos (c), el canal externo (d), la cresta del arrecife (e), el canal externo (f) y los contrafuertes a barlovento (g). Página de la izquierda: una barrera de coral en la isla de Palau. Abajo: en la Micronesia.







ción que remodela completamente el aspecto del banco de arena.

6. La zona de las cabezas de coral y de los pináculos. Detrás de la zona de arena encontramos, entre uno y 20 metros de profundidad, una región de aguas muy tranquilas, pero poco oxigenadas, a las que se han adaptado muchos corales que se aglomeran constituyendo espesas cabezas de setas, coliflores, alcachofas, etc. Estos corales no forman arrecifes de un solo tipo, como los de las barreras a barlovento, sino sistemas discontinuos en el seno de los cuales proliferan las gorgonias, las conchas, los equinodermos y los peces multicolores. Entre las cabezas coralinas se acumula una arena irregular, mezclada con detritos orgánicos (fragmentos de algas y de animales muertos) y con diversas conchas.

Toda esta zona interna es recorrida con retraso por las ondas de mareo que aportan aguas ya empobrecidas en oxígeno y en nutrientes. Sin embargo, la tranquilidad de la que gozan las especies que la colonizan la convierte en un santuario animal de una gran riqueza y de una determinante importancia ecológica.

Los baluartes y los islotes

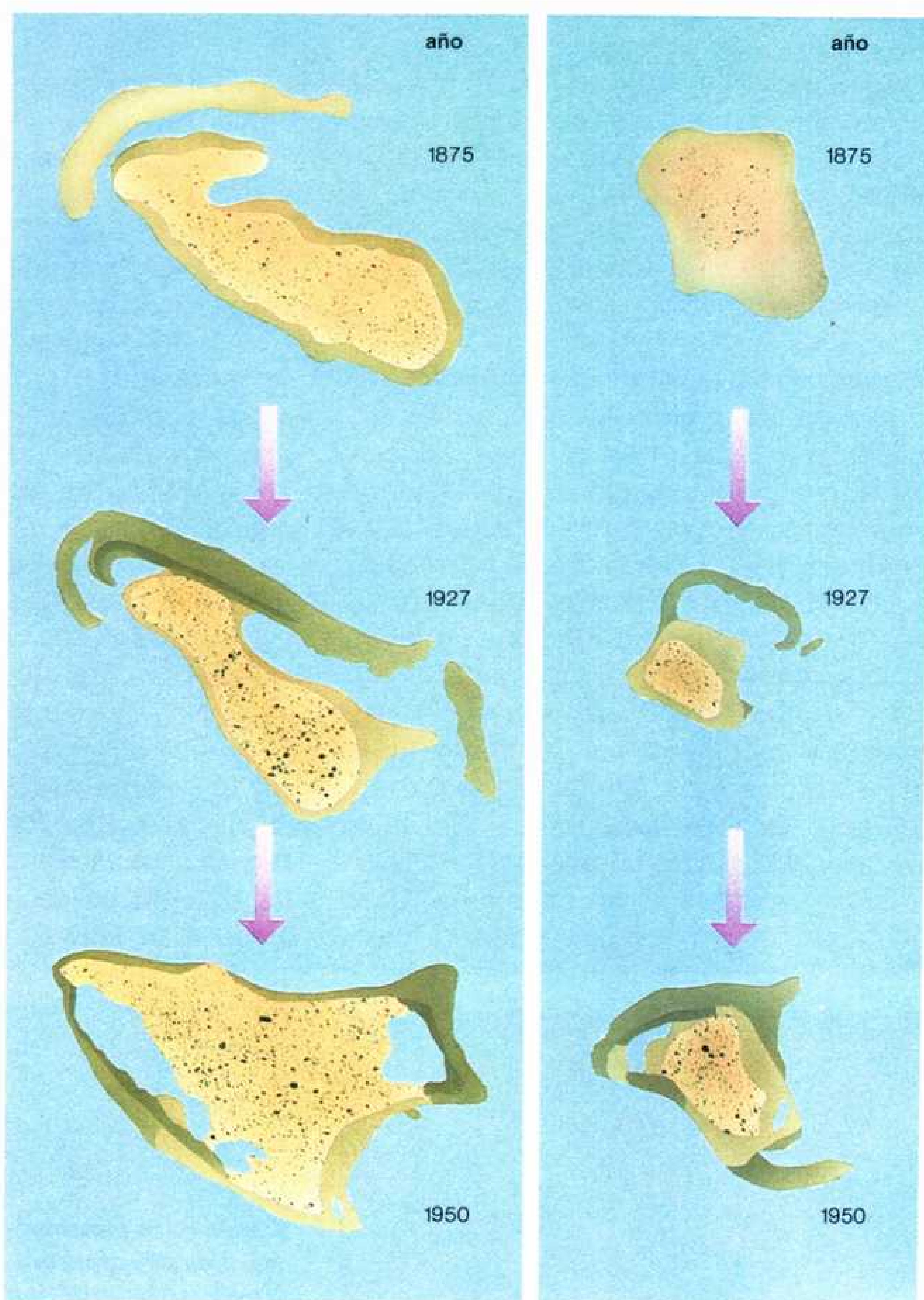
En algunas regiones de los sistemas de arrecifes circulares, allí donde la fuerza de los vientos dominantes, de los ciclones y de los tifones se concentra en torbellinos, los detritos se aglomeran y forman sólidos baluartes. Se trata de islotes de pequeñas dimensiones, constituidos por una mezcla concrecionada de arena, guijarros coralinos y fragmentos de arrecife, que tienen el aspecto de fortificaciones o castillos y que se alzan en medio del agua. Según la altura de la marea, se elevan uno, dos o hasta tres metros por encima de la superficie, y son utilizados con frecuencia como substrato por las plantas y los pequeños arbustos tropicales. Las aves marinas los frecuentan en gran número y los transforman a veces en islotes de guano.

En ocasiones, tempestades especialmente violentas destruyen los bastiones en formación, sobre todo si se trata de estructuras de guijarros todavía poco soldadas. En estas condiciones asistimos a la formación de una serie de bancos secundarios característicos «en martillo». La «cabeza» está constituida por los restos del baluarte derrumbado, mientras que el «mango», alargado y estrecho, se compone de guijarros más pequeños que la tempestad ha empujado a decenas y hasta a centenares de metros.

Allí donde abundan las algas coralinas, los baluartes se aglomeran mucho más rápidamente y con mayor solidez. Las incrustaciones calizas de la *Lithothamnium* y de sus semejantes desempeñan el papel de un auténtico cemento. El islote se hace indestructible en estas condiciones, por muy potentes que sean los tifones. Los arrecifes menos expuestos a las tempestades y a los ciclones no se ven amputados de trozos lo suficientemente grandes como para constituir baluartes o islotes. Ciertamente son atacados por la acción erosiva de las olas, pero sólo se desprenden partículas de arena. Estas se acumulan a sotavento, en bancos de dimensiones variables. Estos bancos son muy inestables; cada perturbación acuática (grandes mareas, etc.) los remodela, modifica su contorno. A veces llegan a desaparecer en unas pocas horas o días. Un pequeño número de ellos gozan de unas condiciones tan favorables que consiguen crecer y luego emerger. Si los cocos llevados por las corrientes llegan a ellas, pueden germinar; las raíces de los cocoteros fijan entonces con fuerza lo que se ha transformado en una isla de arena. Otras plantas, en especial gramíneas, contribuyen a la estabilización del islote. Este tipo de islas de arena se en-





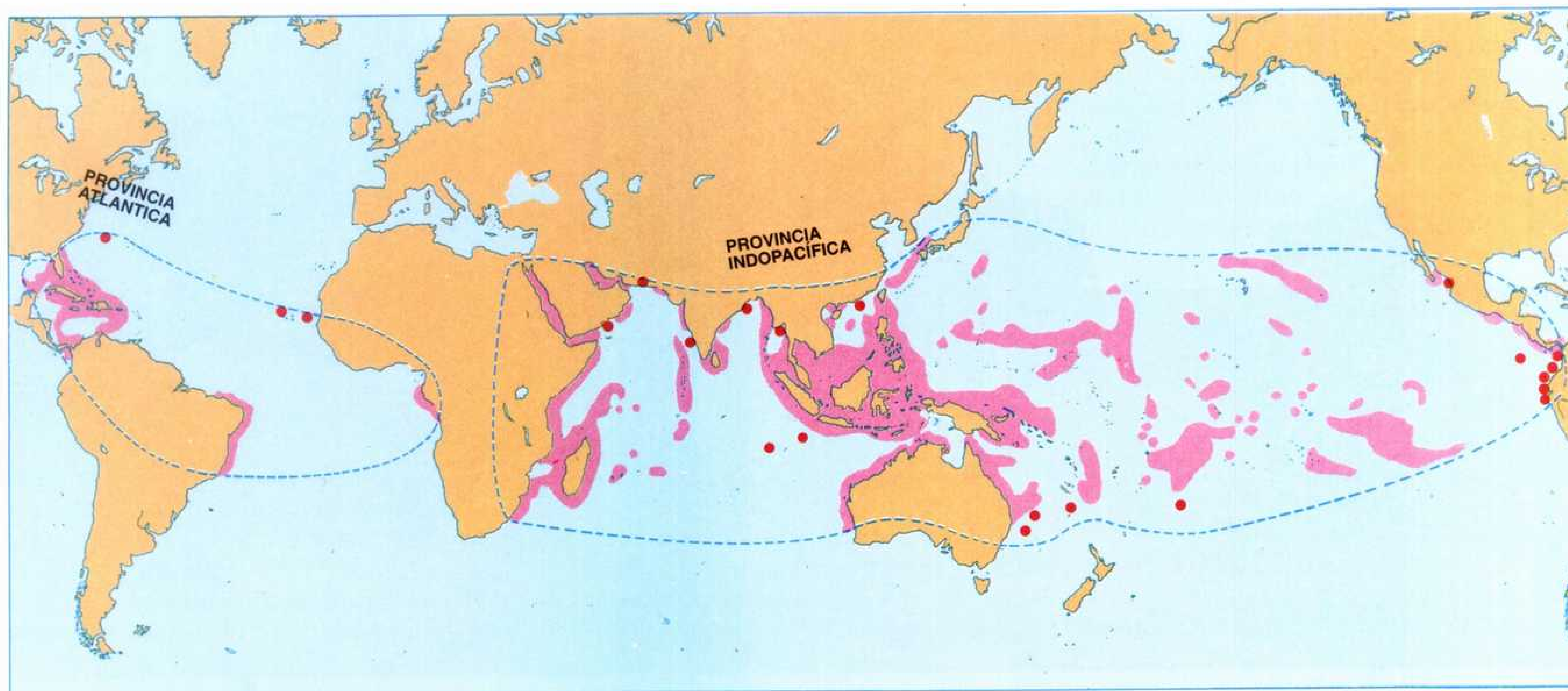


Los islotes coralinos. *Los mapas de arriba muestran la evolución de dos islotes coralinos de Indonesia, situados al este de Java. A la izquierda, el de Mjamuk Besar (o Leiden); a la derecha, el de Air Ketjil (o Haarlem). La influencia de los vientos dominantes aparece perfectamente en la forma en la que los diferentes elementos se organizan los unos con respecto a los otros. Página de la izquierda: un islote de la barrera de Nueva Guinea: la dirección del viento se encuentra materializada por las líneas en la arena. En esta página, el islote Kiriwisa, también en Nueva Guinea.*

cuentra en todas los mares cálidos, pero caracteriza especialmente a las Bahamas, en alta mar frente a Florida, y a las islas del Caribe; los cayos *(keys)* de Florida constituyen los ejemplos más famosos. La arena, colonizada por los vegetales, padece en seguida la acción química del agua de lluvia, que tiene entre otros el efecto de provocar la lixiviación del carbonato cálcico (en presencia de ácido húmico). La arena se endurece, se apelotona y acaba por formar una roca dura. Este proceso es bastante rápido en las condiciones climáticas tropicales; se han encontrado huellas de actividades humanas «fosilizadas» de esta manera después de unos pocos siglos. Una vez que se ha constituido el núcleo sólido del islote, prosigue la acumulación de arena a su alrededor; las plantas pioneras siguen también enviando representantes a estos espacios. Depósitos de lodos orgánicos se unen muy a menudo a la arena en una zona de la isla; se observa entonces el nacimiento de un manglar de vegetación típica.

Por supuesto, todos estos procesos son extremadamente complicados. La eficacia de los corales constructores depende de la limpidez, de la temperatura y de la riqueza del agua en sustancias orgánicas y minerales (especialmente en carbonato de calcio). La estructura del edificio está relacionada con el sentido y la fuerza de los vientos dominantes, que engendran corrientes superficiales, torbellinos, etc. Las diferentes regiones del arrecife se encuentran desigualmente expuestas a la erosión, que destruye rápidamente las barreras más expuestas al viento; pero los materiales arrancados de esta forma van a depositarse, según el capricho de los torbellinos, a sotavento y forman localmente nuevos islotes.

La distribución de los arrecifes



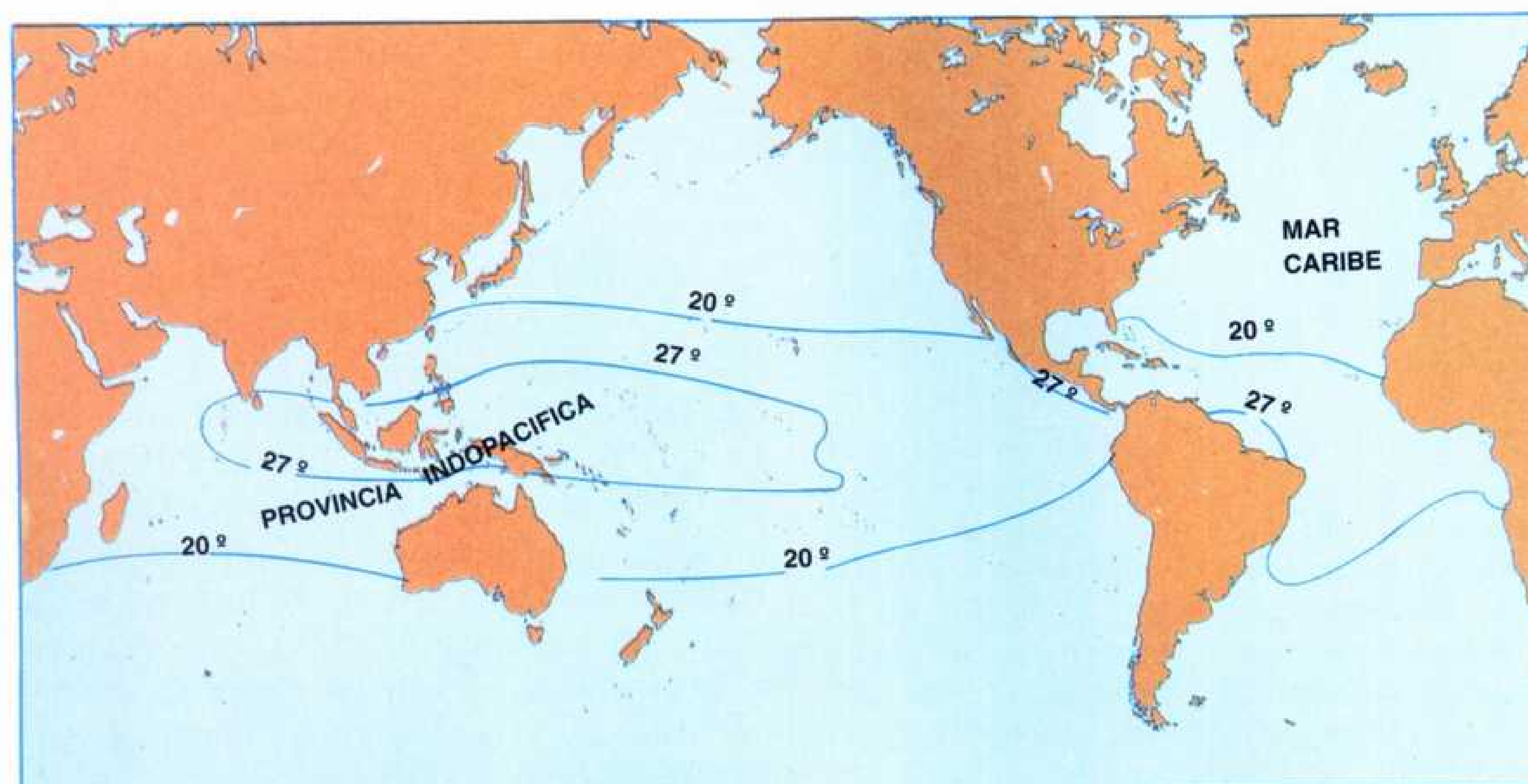
La temperatura mínima del agua que se requiere para el nacimiento de los corales constructores es de 18 °C. Esto explica que los arrecifes sólo se formen en una zona trópico-ecuatorial limitada aproximadamente por los paralelos 37 de latitud Norte y Sur. En términos ecológicos, los corales constructores son estenohalinos (no soportan los cambios de salinidad), estenotérmicos (no quieren grandes diferencias de temperatura) y fotótrofos (necesitan mucha luz). Estas tres exigencias nos permiten trazar fácilmente el mapa mundial de las grandes regiones coralinas.

Sin embargo, existen regiones del océano suficientemente cálidas e iluminadas en las que la concentración en sales no varía mucho, y que no poseen arrecifes. Las razones que explican esta ausencia son de dos tipos. Implican por un lado a la biología de las larvas del coral: éstas permiten la extensión de los arrecifes al formar nuevas colonias. Pero son organismos planctónicos (de tipo plánula), especies de micromedusas cuya dispersión depende de las corrientes. Allí donde no existe ninguna corriente favorable las larvas no son transportadas y los arrecifes no se forman aunque se encuentren presentes las demás condiciones ecológicas.

El segundo factor limitante es de índole química. Para constuir sus políperos, los corales emplean carbonato de calcio, que encuentran disuelto en el agua del mar. Aunque este compuesto es relativamente abundante en las capas inferiores del océano, se agota rápidamente en el estrato superficial. Se renueva mediante ascensiones de aguas profundas, permanentes o frecuentes en algunas zonas, pero ausentes de otras. Los corales crecen abundantemente en los primeros biotopos y son escasos en los segundos.

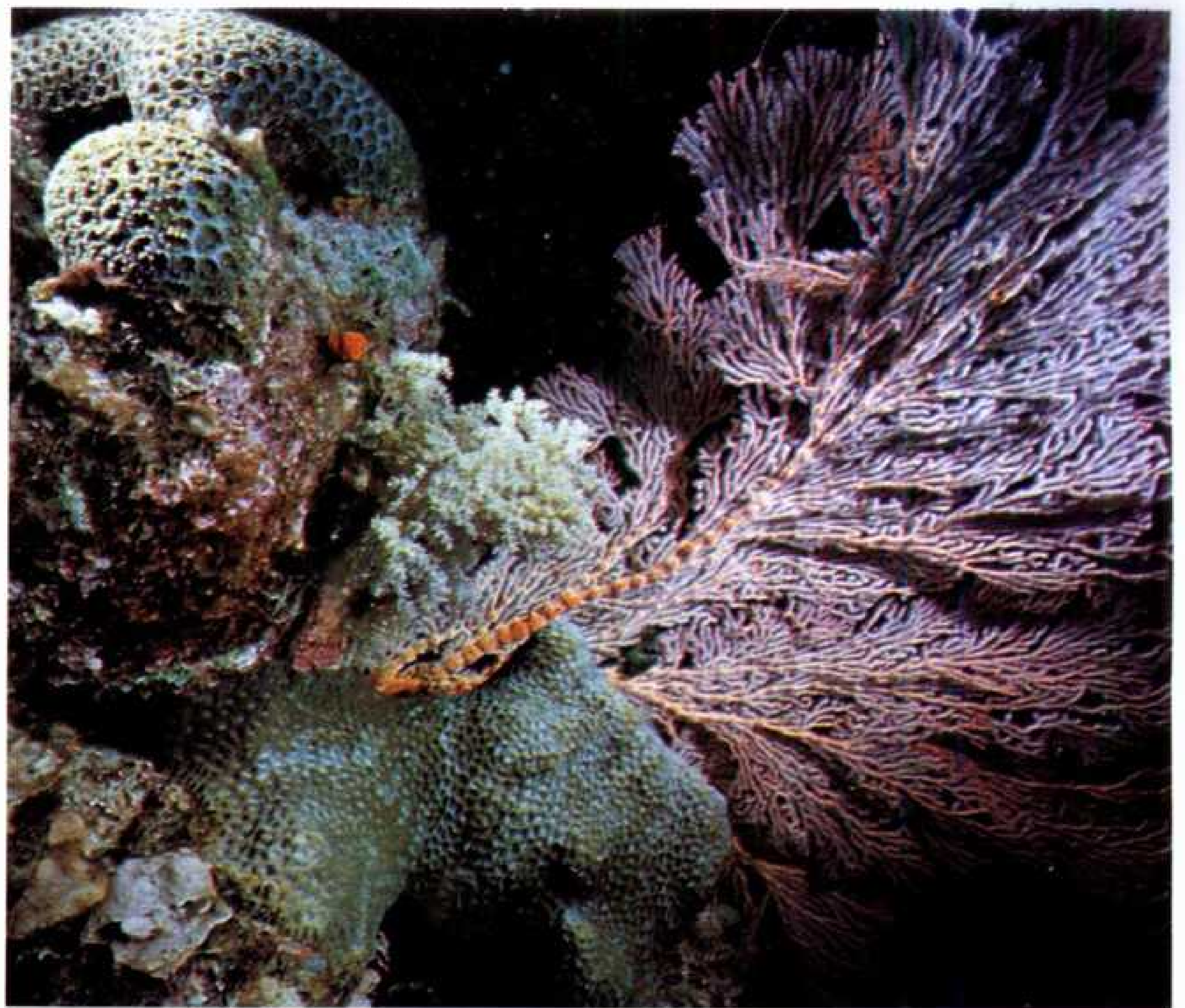
Las grandes regiones coralinas del globo son, por una parte, la provincia Atlántica y, por otro lado, la provincia Indo-Pacífica. La primera es famosa fundamentalmente por los arrecifes de las Bahamas, de las Antillas y de América Central (Belice), aunque también posee interesantes conjuntos cerca de Venezuela, Brasil, Angola y Namibia.

La provincia Indo-Pacífica es, con diferencia, la más rica. Tiene por centro el archipiélago indonesio, en el que decenas de miles de islas ofrecen lugares favorables a la proliferación de los corales (aunque no puedan crecer cerca de la desembocadura de los numerosos ríos de esta región debido a la excesiva turbiedad de las aguas). En el océano Indico y sus mares adyacentes nos encontramos con maravillosos fondos coralinos desde Madagascar al mar Rojo, pasando por las Seychelles, y desde las islas Mascareñas al golfo Pérsico, pasando por las Maldivas. En el océano Pacífico podemos explorar desde arrecifes famosos (como la gran Barrera Australiana) hasta semilleros de magníficos atolones desde Melanesia a las islas Hawai.

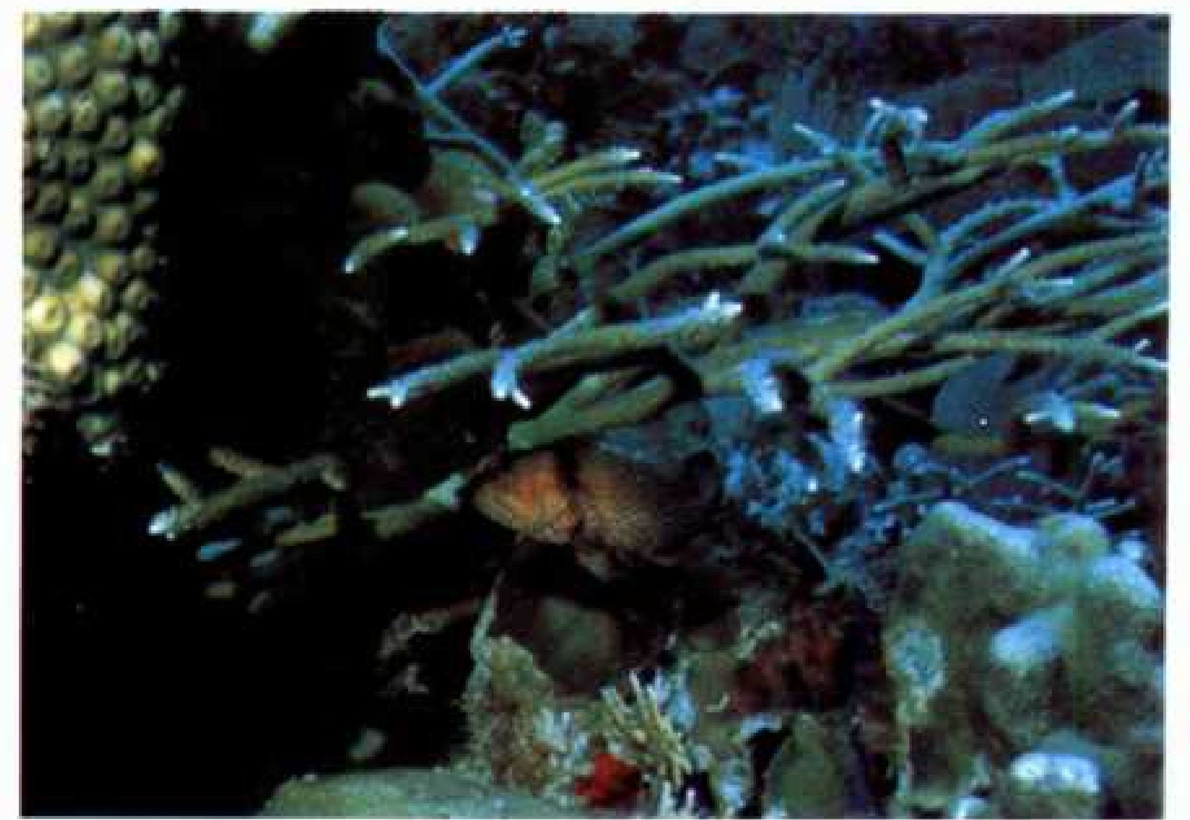


Dónde viven los arrecifes. *Los arrecifes coralinos sólo pueden constituirse en las aguas cuya temperatura media sobrepase los 18 °C en el mes más frío. En la práctica, este hecho les obliga a crecer en las regiones oceánicas comprendidas entre los paralelos 37 Norte y Sur. Los mapas de esta página muestran la estrecha correlación existente entre la temperatura media del agua y la abundancia de corales. Estos se desarrollan fundamentalmente en dos provincias biogeográficas diferentes: la Atlántica, por una parte, y, por otra, la Indo-Pacífica.*

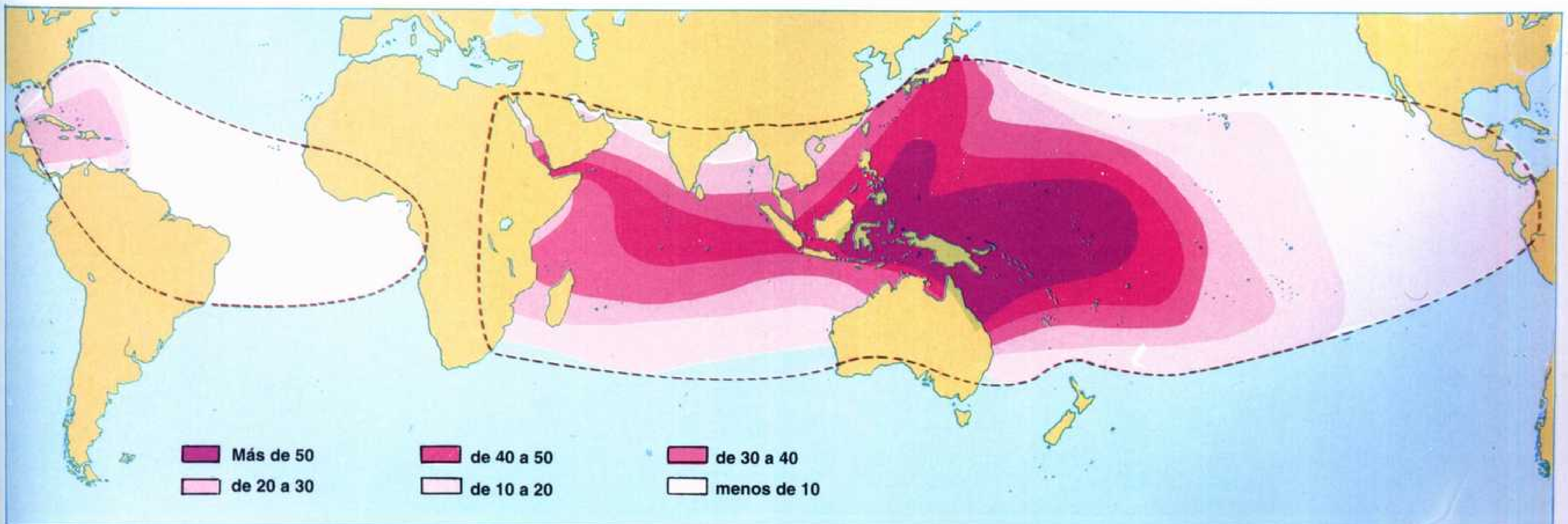








La distribución de los corales constructores. *Existe un gran número de géneros diferentes de corales constructores. En algunas regiones encontramos sólo unas cuantas; en otras, varias decenas, como lo muestra el mapa de abajo. La región más rica es, con gran diferencia, la que se extiende desde Micronesia hasta las Filipinas y Australia. Las fotografías de corales de arriba fueron tomadas (de arriba abajo y de izquierda a derecha) en fondos de California, Australia, las islas Andamán y el mar Caribe.*



Las transgresiones y agujeros azules



Los antiguos arrecifes. *Levantados por una regresión marina o por movimientos tectónicos, aparecen actualmente con claridad. Al lado, un ejemplo de arrecife levantado que domina ahora la superficie del mar desde casi cinco metros de altura. Abajo: en algunas zonas de arrecifes antiguos, esculpidos por la lluvia y sumergidos nuevamente, encontramos pozos llamados agujeros azules (aquí, en las Galápagos).*

LA historia geológica del Cuaternario nos muestra la existencia de grandes ciclos climáticos de unos 100.000 años que corresponden, *grosso modo,* a ciclos de actividad solar, a su vez ligados probablemente al paso de nuestra región galáctica por nubes de polvo espacial. Las glaciaciones siguen así a períodos interglaciares. La última glaciación tuvo su punto culminante hace 17.000 años. El nivel del mar era entonces 170 metros inferior al actual. La subida de las aguas terminó hace alrededor de 6.000 años.

Estos movimientos sucesivos de retiradas (regresión) y avances (transgresión) de las aguas marinas ejercieron evidentemente una gran influencia sobre los ecosistemas coralinos. Cuando el nivel desciende, los políperos de la parte superior del arrecife mueren, ya que están expuestos a la sequedad y al calor de la atmósfera. Cuando el agua vuelve a subir, una parte de los corales desaparece al faltarles la luz.

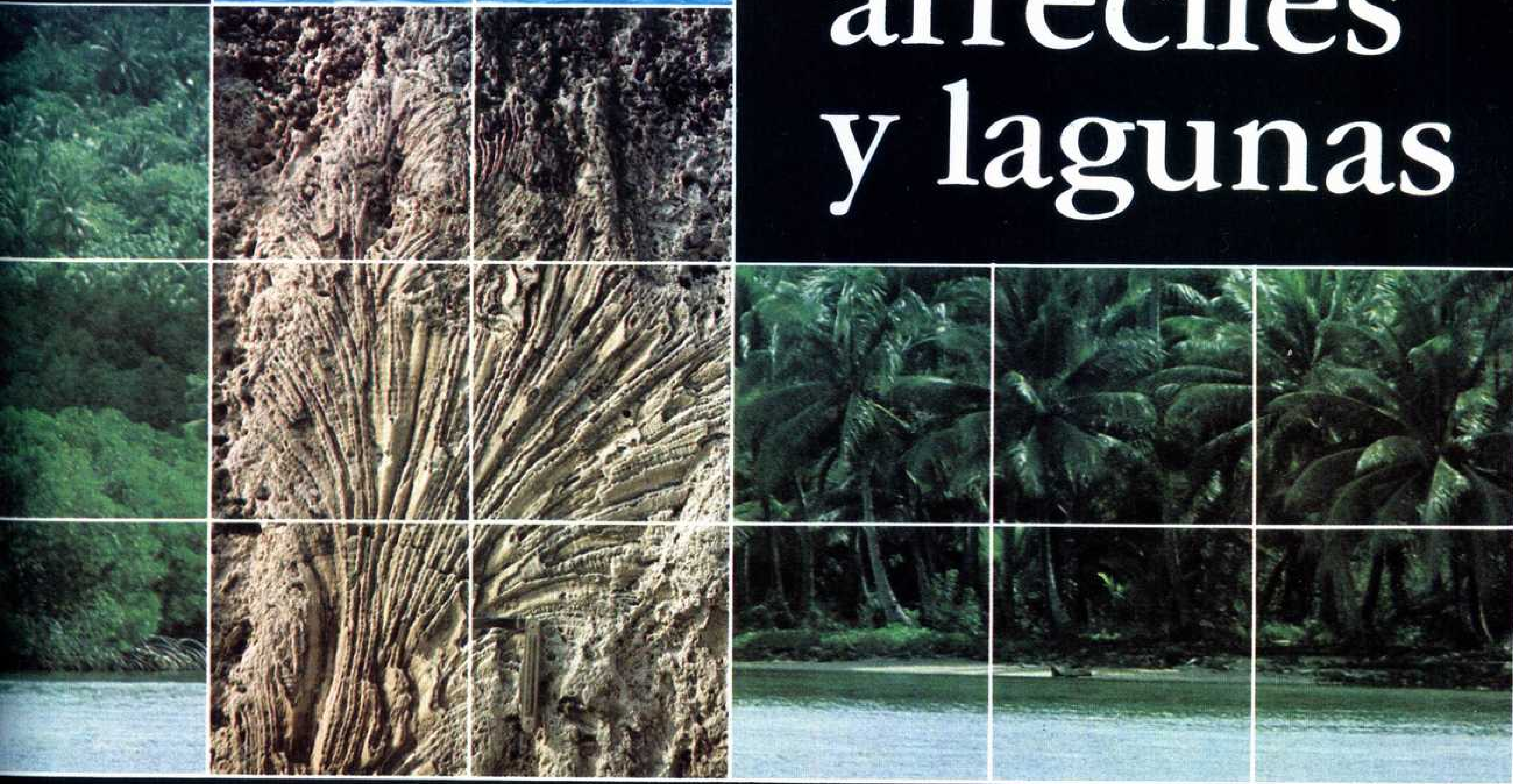
Algunas barreras coralinas, extremadamente complejas, han tenido tiempo de constituirse durante una fase de regresión marina. Luego fueron sumergidas durante la subida de las aguas a la siguiente interglaciación; encontramos así, a varias decenas de metros de profundidad (en el mar Rojo, en los archipiélagos de las Maldivas y las Laquedivas, cerca de las islas Houtman y Rottnest, en la costa occidental de Australia, y también en las Bermudas y en las Bahamas), formaciones sumergidas de una sorprendente amplitud. Por el contrario, los arrecifes que se constituyeron durante una fase interglaciar, en el transcurso de la cual el nivel del mar era más alto que el actual (más de tres metros), tienen hoy la cabeza al sol...

En las regiones calizas, aunque no obligatoriamente de origen coralino, las aguas de lluvia, ligeramente ácidas, atacan el relieve. Excavan pequeñas hoyas (dolinas) y pozos *(avens),* se infiltran por las fisuras y las ensanchan. Abren cuevas, sobre el suelo de las cuales depositan estalagmitas y en el techo de las cuales cuelgan estalactitas. Estos procesos duran milenios. Puede ocurrir que afecten a calizas situadas al borde del mar.

Las aguas de lluvia excavan simas en estos sistemas kársticos en el transcurso de los períodos glaciares, cuando el nivel del mar es muy bajo. Cuando los casquetes polares se derriten y el océano sube de nivel, estos relieves quedan sumergidos. El orificio de las simas se puede ver entonces con claridad bajo la superficie, formando una mancha redondeada de color azul oscuro que destaca con nitidez sobre el fondo azul claro del mar que la rodea. Se ha llamado a estos orificios «agujeros azules» y se ha pretendido a veces que son insondables. Se encuentran especialmente en el archipiélago de las Bahamas, cerca de Honduras, y en las islas Abrolhos, en Australia occidental. El equipo del *Calypso* exploró varios mediante inmersiones en las Bahamas y en Honduras. Demostró que su profundidad rara vez sobrepasa los 100 metros y que, efectivamente, al igual que en los *avens* y las cuevas de las regiones calizas continentales (Causses, etc.), se encuentran en ellos estalactitas y estalagmitas.



Atolones, arrecifes y lagunas



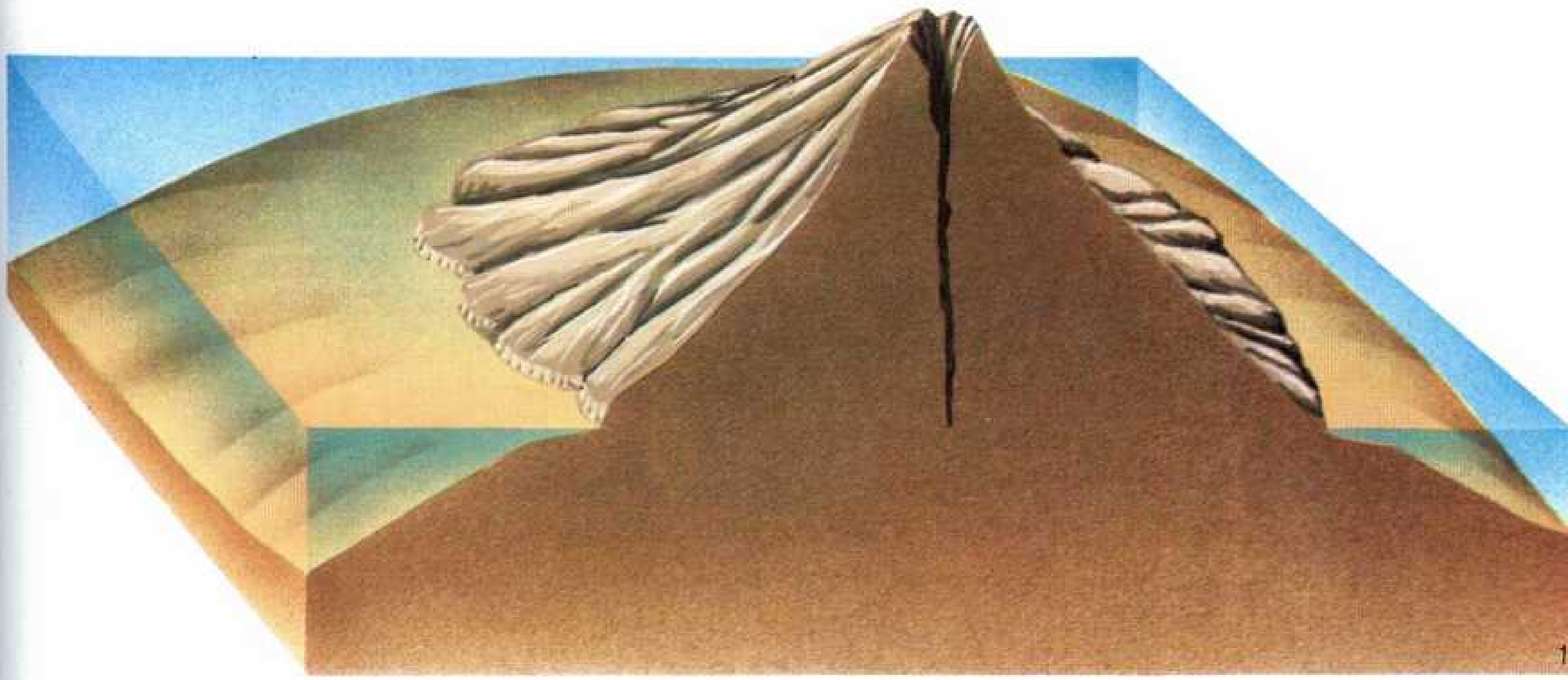
Las estructuras coralinas



La forma más sencilla de arrecife consiste en una comunidad de celentéreos constructores que colonizan la costa de una isla tropical. Es un fenómeno cuyas condiciones ecológicas de aparición son múltiples pero bien conocidas (por lo menos las principales): agua marina de salinidad constante del 35 por 1.000; temperatura media del agua durante el mes más frío de 18 °C; buenas condiciones de iluminación (para permitir la actividad fotosintética de las zooxantelas, esas algas simbióticas unicelulares que se desarrollan en la cavidad de los pólipos coralinos); substrato sólido, de preferencia rocoso; amplios movimientos del agua, suficientes para asegurar a las especies constructoras una aportación correcta de oxígeno, nutrientes y carbonato cálcico. Las relaciones de simbiosis entre las algas unicelulares del tipo zooxantelas y los corales son especialmente provechosas. Las algas se multiplican, bien protegidas por los animales coloniales y beneficiándose de un abono renovado sin cesar: los materiales nitrogenados y fosfatados que excretan los pólipos. Por su parte, los corales obtienen del alga lo esencial de su energía en forma de azúcares, más o menos complejos. Se estima que más del 60 por 100 del carbono fijado en forma de azúcares por las zooxantelas en el transcurso de la fotosíntesis pasa a los organismos coralinos. Es un rendimiento excepcional; en la mayoría de las ocasiones la proporción de carbono transferido entre la hierba y el herbívoro no sobrepasa el 10 por 100.

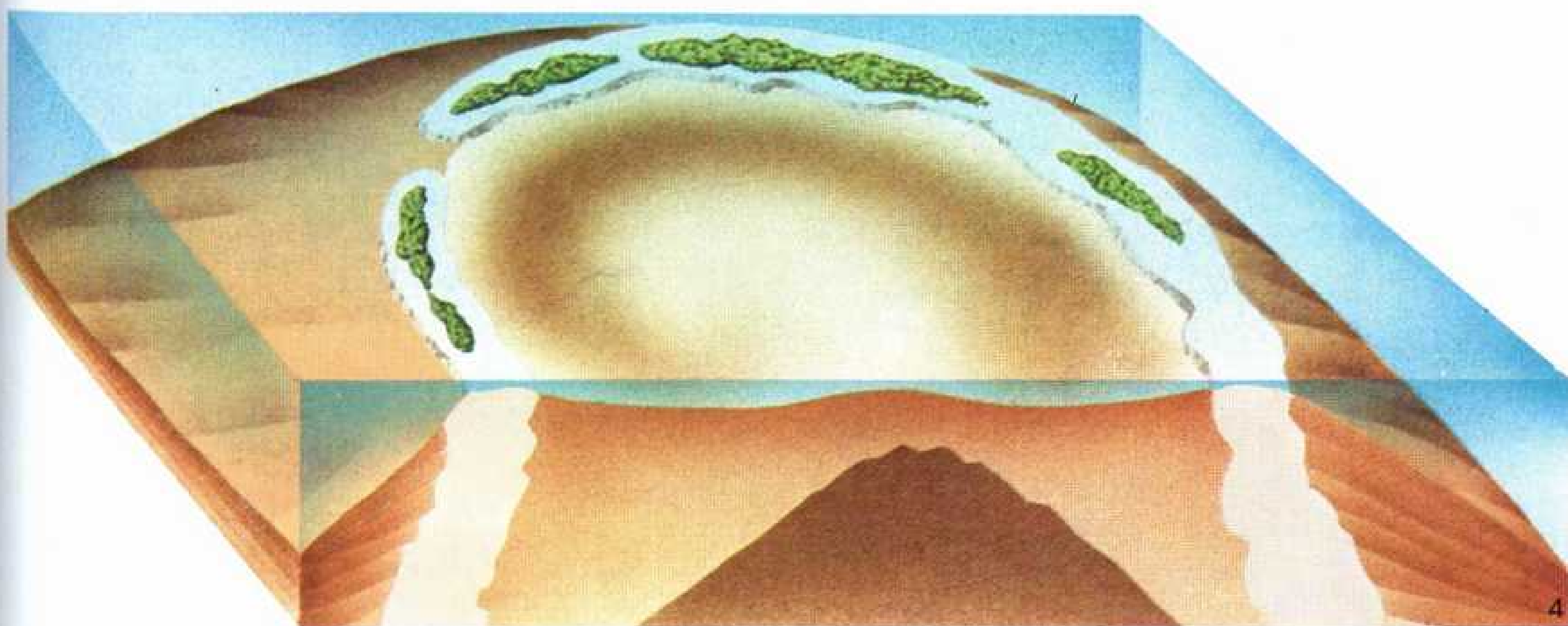
Cuando todas las condiciones ecológicas mencionadas anteriormente se hallan presentes, el arrecife de coral crece y se embellece año tras año. Algunos de estos edificios llegan pronto a su máximo; la superficie del fondo rocoso favorable puede estar limitada; en cuanto se acentúa la pendiente y sobrepasa los 40 metros de profundidad, los «faraones del mar» dejan de existir. En otras regiones, la plataforma indispensable para la existencia de los corales ocupa una superficie considerable, y asistimos al cabo de unos milenios a la constitución de una majestuosa barrera, que alcanza a veces una longitud de varias decenas de kilómetros. Las barreras continentales constituyen por sí solas pequeños mundos. Estos inmensos ecosistemas que cubren decenas

La hipótesis de Darwin. *Charles Darwin fue el primero en proponer una explicación coherente de la constitución de los atolones coralinos. La serie de esquemas de la página siguiente resume una parte de su hipótesis. 1) Un volcán submarino emerge y construye un cono de detritos minerales. 2) Los corales colonizan la base de este edificio y forman una corona. 3) El cono volcánico se hunde progresivamente mientras que los corales prosiguen con su trabajo. 4) El cono volcánico ha desaparecido completamente: no queda más que un atolón de forma circular en medio del cual se extiende una laguna. La fotografía de arriba muestra un trozo de atolón perteneciente a la Polinesia francesa.*









de kilómetros cuadrados (e incluso centenares, en el caso de las más extensas) permiten la vida de todo tipo de especies, entre las que se cuentan las más sorprendentes y coloristas. Los corales constructores se diversifican en un gran número de géneros y de variedades. Se codean con las esponjas y los briozoos, las anémonas y las gorgonias arbustivas. Los crustáceos y los moluscos pasan o se camuflan en él mientras que los maravillosos nudibranquios palpitan en el agua como extrañas mariposas. Las estrellas de mar y los ofiuros despliegan sus brazos. Los peces ángel y los peces mariposa rivalizan en esplendor, mientras que los rascacios extienden sus espinas rayadas, los peces loro roen el coral y los minúsculos lábridos limpiadores les libran de sus parásitos. De vez en cuando, un banco de barracudas o un tiburón —depredadores de alta mar— vienen a llenarse el estómago a esta paradisiaca despensa.

Las grandes barreras sólo se constituyen en las cercanías de los continentes y de las mayores islas, es decir, encima de la plataforma continental. En alta mar, los corales deben contentarse con áreas mucho más reducidas que se sitúan en la periferia de las islas volcánicas. Allí construyen esas sorprendentes estructuras que llamamos atolones.

El esquema explicativo de la formación de los atolones es bastante simple, y, como ya lo vimos anteriormente, fue concebido por Charles Darwin. El genial científico comprendió perfectamente que cuando un edificio coralino se apoya sobre un cono volcánico, puede provocar su progresivo hundimiento. Además, el lento derrumbamiento de los conos volcánicos marinos es una constante en geología. Actualmente sabemos que la velocidad de sumersión espontánea de los volcanes varía entre 0,1 y 10 milímetros por año; esta velocidad se corresponde *grosso modo* con la capacidad de crecimiento en espesor del arrecife de coral. La explicación darwiniana es válida: a medida que el volcán emergido se va compactando, los corales que lo rodean compensan el derrumbamiento por un nuevo crecimiento. Llega un momento en el que el cono eruptivo desaparece completamente bajo la superficie, mientras que su cinturón coralino permanece emergido y rodea un estanque de agua salada que llamamos laguna. Los corales pioneros murieron hace tiempo, sepultados a decenas de metros de profundidad. Pero sus descendientes prosiguen con la prodigiosa obra que ellos iniciaron...

La hipótesis darwiniana sobre la formación de los atolones no tuvo seguidores entre los científicos. Otros tan brillantes como sir John Murray, el famoso naturalista de la expedición del *Challenger,* o

como el biólogo suizo Alexander Agassiz, la criticaron con argumentos de peso. Hicieron ver, por ejemplo, que las lagunas de numerosos atolones pueden deberse a procesos de descomposición química, y, si éste es el caso, no es seguro que sustituyan a conos eruptivos sumergidos. De la crítica nace un mejor conocimiento. En la actualidad, aunque los geólogos están de acuerdo en considerar que la hipótesis de Darwin es globalmente satisfactoria, saben también que pueden existir muchas variantes de este esquema general. Así, nada impide a un volcán sumergido y coronado por un atolón coralino volver a activarse y obligar a los celentéreos constructores a modificar considerablemente su primera obra. Resultará de ello un atolón complejo, en el que la laguna podrá tener un doble origen: darwiniana, clásica, y detrítica, según la hipótesis de sir John Murray.

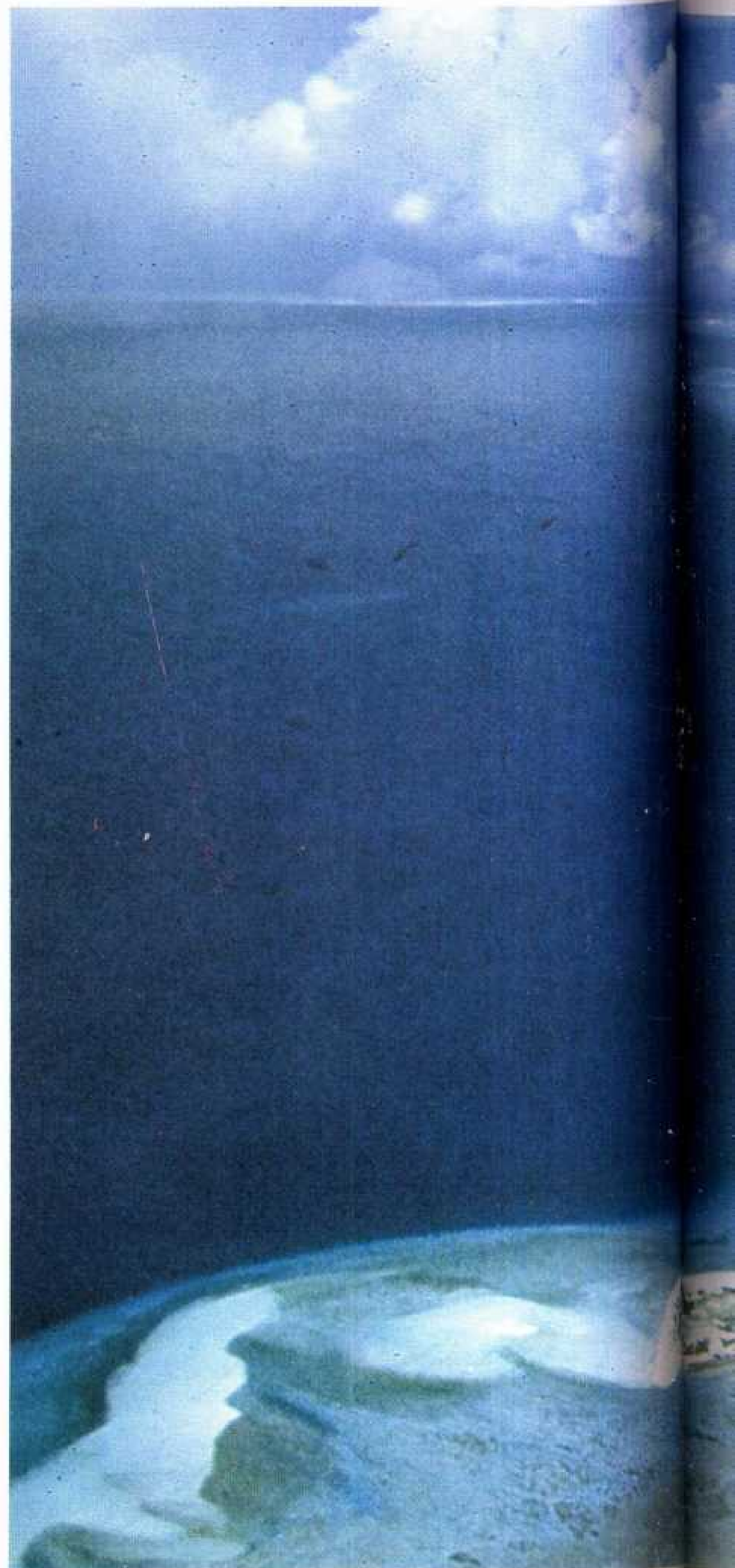
Los científicos no se conforman con las hipótesis, por muy convincentes que éstas sean. Quieren pruebas, y pruebas tangibles. La mejor manera de comprobar la teoría de Darwin (aun mejorada) consiste en hacer un agujero en un atolón y estudiar la disposición de sus estratos. Las primeras perforaciones de este tipo fueron ejecutadas, bajo la dirección de la Royal Society de Londres, en los últimos años del siglo XIX. En 1897, una perforación de 300 metros se realizó, no sin grandes problemas, en el substrato rocoso del atolón de Funafutí, en el archipiélago de Ellis, pero no alcanzó el zócalo volcánico. Se hicieron muchos más intentos con posterioridad, bajo la dirección de científicos japoneses, holandeses, franceses, americanos, etc. Pero las perforaciones en el coral se cuentan entre las más difíciles. Hubo que esperar al año 1950, y a las pruebas termonucleares americanas en Bikini y Eniwetok, para tener una confirmación definitiva de la hipótesis darwiniana: se localizó entonces el zócalo volcánico, pero a no menos de 1.200 metros de profundidad.

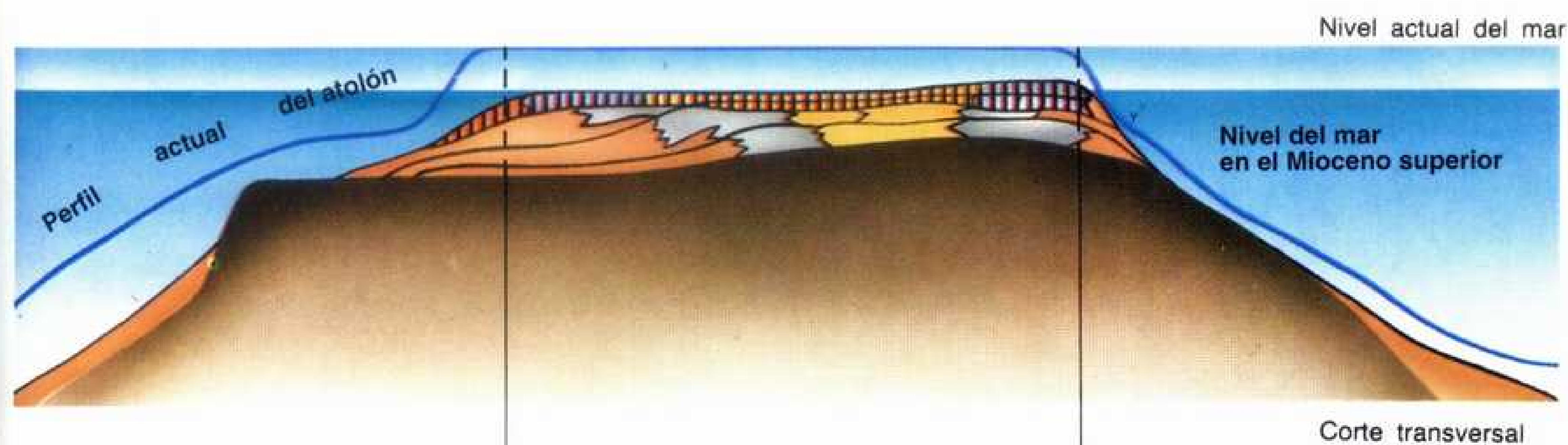
La teoría del derrumbamiento volcánico se sostiene y lo hace con firmeza. Pero ¿cuál es su causa? ¿Simplemente el peso de los materiales eruptados sumado al de los corales, o hay que buscar una explicación más complicada? Desde que la geomorfología se constituyó como ciencia en los años 1900 (con portavoces tan brillantes como William Morris Davis, de la Universidad de Harward), sabemos algo más de los movimientos de la corteza terrestre: las fases de «contracción» y de «expansión» alternan, provocando subidas o descensos del nivel general de los mares. Estos fenómenos han recibido el nombre genérico de eustatismo. Y, como muy a menudo van acompañados por fenómenos glaciares, se ha inventado la

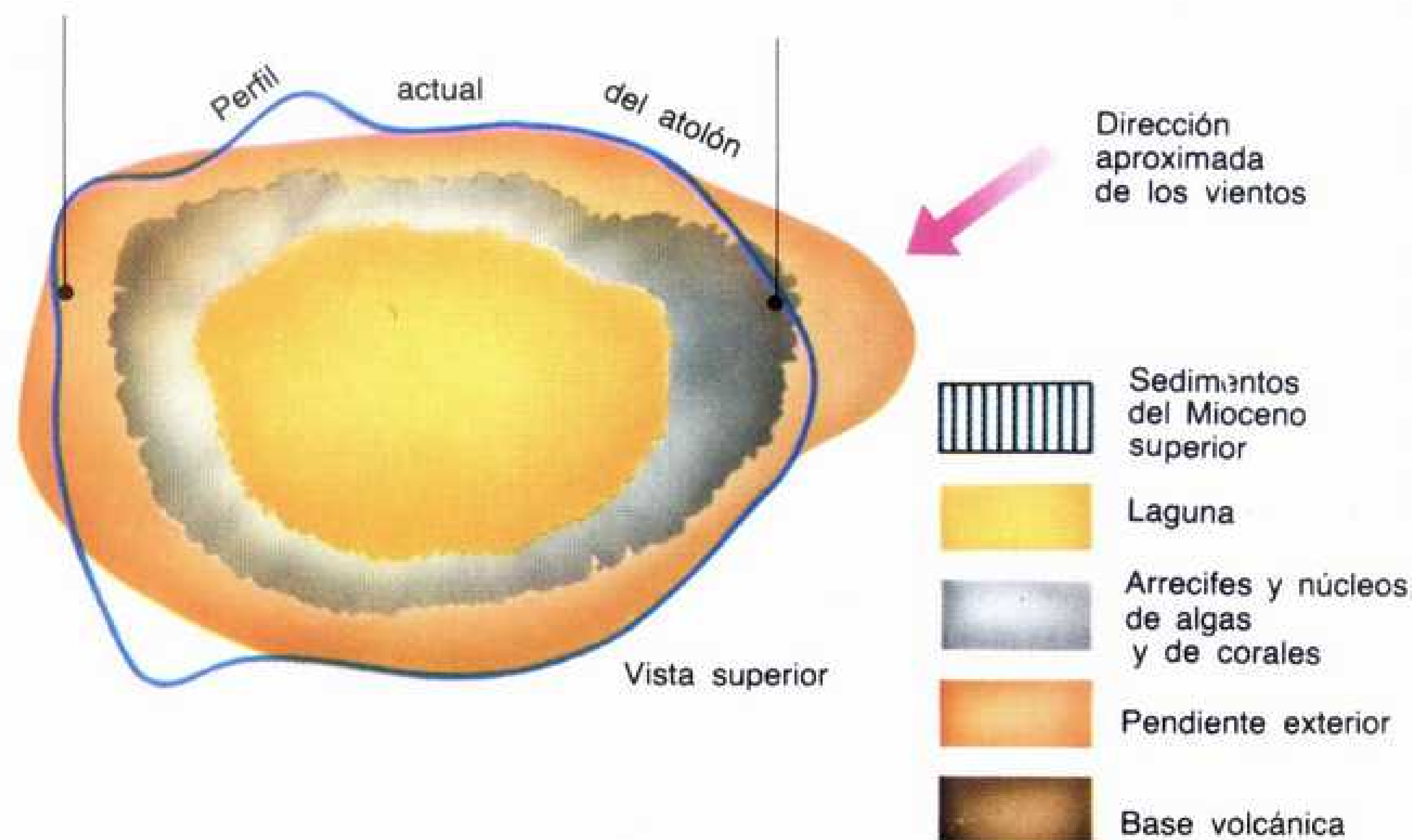


expresión glacioeustatismo para designarlos. Un joven colega de William Morris Davis, en Harward, que se llamaba Reginald A. Daly, realizó un viaje de estudio al archipiélago de Samoa, en el que hizo una importante observación. A tres, cuatro o cinco metros por encima del nivel del actual arrecife de coral, cada isla está rodeada por un «banco» de apenas unos metros de anchura, barrido por las salpicaduras de las olas y por las tempestades. Este banco existe en la mayoría de las islas coralinas. ¿Cuál puede ser su origen? Daly, acordándose de los fenómenos de glacioeustatismo, formuló la hipótesis de que estos bancos se habían formado en el transcurso de un período de nivel muy elevado de las aguas marinas que resultó de una contracción de la corteza terrestre durante una interglaciación. Planteó también la idea de que el proceso inverso (bajo nivel de las aguas y expansión del fondo marino) lleva lógicamente a resultados opuestos; descenso del zócalo volcánico y de su carga coralina. De aquí a llegar a la conclusión de que el derrumbamiento que provoca la formación de los atolones es de origen glacioeustático no hay más que un paso.

Daly aprovechó sus observaciones en las islas Samoa para formular otra hipótesis. Constató que la profundidad máxima de las lagunas varía entre 75 y 150 metros, valores de la misma magnitud que el descenso del nivel general del mar durante







La estructura de un atolón. *Las dos fotografías de esta doble página muestran el atolón de Eniwetok, en el que los americanos llevaron a cabo una parte de sus experimentos termonucleares. En los esquemas vemos la estructura de este atolón del archipiélago de las islas Marshall al principio del Mioceno, hace unos 25 millones de años. Podemos reconstruir la dirección aproximada de los vientos de esta región en la época de estudio.*

las glaciaciones. Podemos ver en este hecho una coincidencia. Daly intentó profundizar aún más; escribió: «¿Y si el descenso del nivel del mar (sumado a su probable enfriamiento) hubiera matado a todos los arrecifes coralinos durante cada gran glaciación, de forma que los que vemos actualmente han debido crecer sobre el apilamiento de cadáveres de sus padres?»

Interrogantes de esta índole son fructuosos, ya que incitan a los científicos a buscar la respuesta en nuevas direcciones. La respuesta que les será dada, aunque negativa, permitirá el progreso del conjunto de nuestros conocimientos sobre el tema. La idea de que periódicamente desaparecen grandes planos del ecosistema terrestre y de que la vida renace de sus cenizas con una paciencia y una obstinación sin límites es, en cualquier caso, muy excitante. Relativiza la concepción triunfalista de que el hombre se ha creado su propio destino sobre este planeta y su propia posición en la jerarquía de los seres vivos.

Vientos y formación de atolones



La evolución de los atolones. *En el dibujo de la página de la derecha se ha representado la evolución de los atolones y de sus contrafuertes. Son posibles dos destinos diferentes a partir de un único estadio inicial. En el primer caso (A), bajo la influencia del viento, el arrecife toma una forma circular y encierra una laguna. En el segundo (B), el crecimiento del coral sigue siendo masivo y la laguna no se constituye. En el primer caso, el atolón alcanza dimensiones superiores a las que consigue el segundo. Las fotografías de esta página muestran, de arriba abajo: un atolón de la Gran Barrera australiana y tres pequeñas islotes coralinos. Página de la derecha: la isla de Konokonowana.*

Los vientos dominantes son de gran importancia en la economía de los arrecifes coralinos: no crecen las mismas especies de celentéreos constructores (y de algas incrustantes) a barlovento y a sotavento.

En la región de los alisios, que son los vientos más regulares, los atolones tienen tendencia a desarrollarse en forma de herradura, con una zona convexa a barlovento y una zona abierta a sotavento. Esta disposición favorece a los navegantes, ya que les permite encontrar refugios durante las tempestades. Al descender hacia el ecuador —en la región de las grandes calmas ecuatoriales—, los vientos son mucho menos estables y los atolones toman forman irregulares. Muchos acaban incluso por cerrarse completamente y se hacen circulares. De un modo general, las olas rompen a marea alta contra la barrera a barlovento, lanzando agua a la laguna y creando así una corriente constante que sale por barlovento. Si el atolón se cierra completamente y si la barrera a barlovento se eleva (por ejemplo, al ser colonizada por vegetales), la laguna se transforma en un «charco» estancado; la variada vida animal y vegetal que sobrevivía gracias a las aportaciones de agua muy oxigenada, regresa lentamente y es sustituida por un conjunto de especies mucho más pobre.

El viento, que mueve a las olas, es de esta forma el principal factor condicionante del espectro de los atolones. Estos evolucionan lentamente, y cuando se cierran van transformándose en plataforma rocosa cuyo centro está formado por detritos aglomerados de coral. Algunas de estas plataformas, curiosamente perdidas en medio de la Gran Barrera australiana, tienen 25 kilómetros de longitud.

En las cercanías de los dos trópicos, en las regiones del océano expuestas a los monzones, los atolones se ven sometidos a fuerzas cuya dirección varía en el transcurso del año: adoptan una estructura circular. Esta misma forma se da cuando los vientos son muy débiles, es decir, en la región ecuatorial. En este último caso, sin embargo, las corrientes pueden modificar el esquema circular básico y crear atolones elípticos. Cuando estas corrientes son particularmente potentes, asistimos a la constitución de típicos arrecifes «en cuerpo de pez».

Es curioso pensar que millones de organismos vivos, reunidos en colonias, se organizan para construir islas y se comportan entonces como granos de arena o cantos rodados en una corriente de agua. Las leyes de la física —en este caso, las de los fluidos— gobiernan la arquitectura de los arrecifes.

La materia viva obedece a las grandes fuerzas del medio (vientos, olas, mareas...) para perpetuarse mejor y vencer así lo inerte.

La propia historia de algunos atolones explica su complicación estructural. Los que datan de cientos de miles o de varios millones de años son forzosamente heterogéneos. Los primeros animales construc-







formación
de la laguna

estadio
inicial

dirección
de los vientos
dominantes

B

A

tores se establecieron en los bordes de un volcán que estaba todavía en actividad. La forma del cono volcánico les impuso sus fronteras. Después, el volcán se sumergió lentamente y estos límites cambiaron. Las eras glaciales e interglaciales se fueron sucediendo, y el nivel del océano descendió y volvió a subir varias veces; todos los políperos perecieron, y el atolón tuvo que renacer, en cada período de calentamiento de la tierra, sobre los cadáveres de los corales que constituían el atolón anterior.

Algunos arrecifes pueden compararse a castillos derruidos en varias ocasiones y reconstruidos después pacientemente sobre sus propios cimientos.

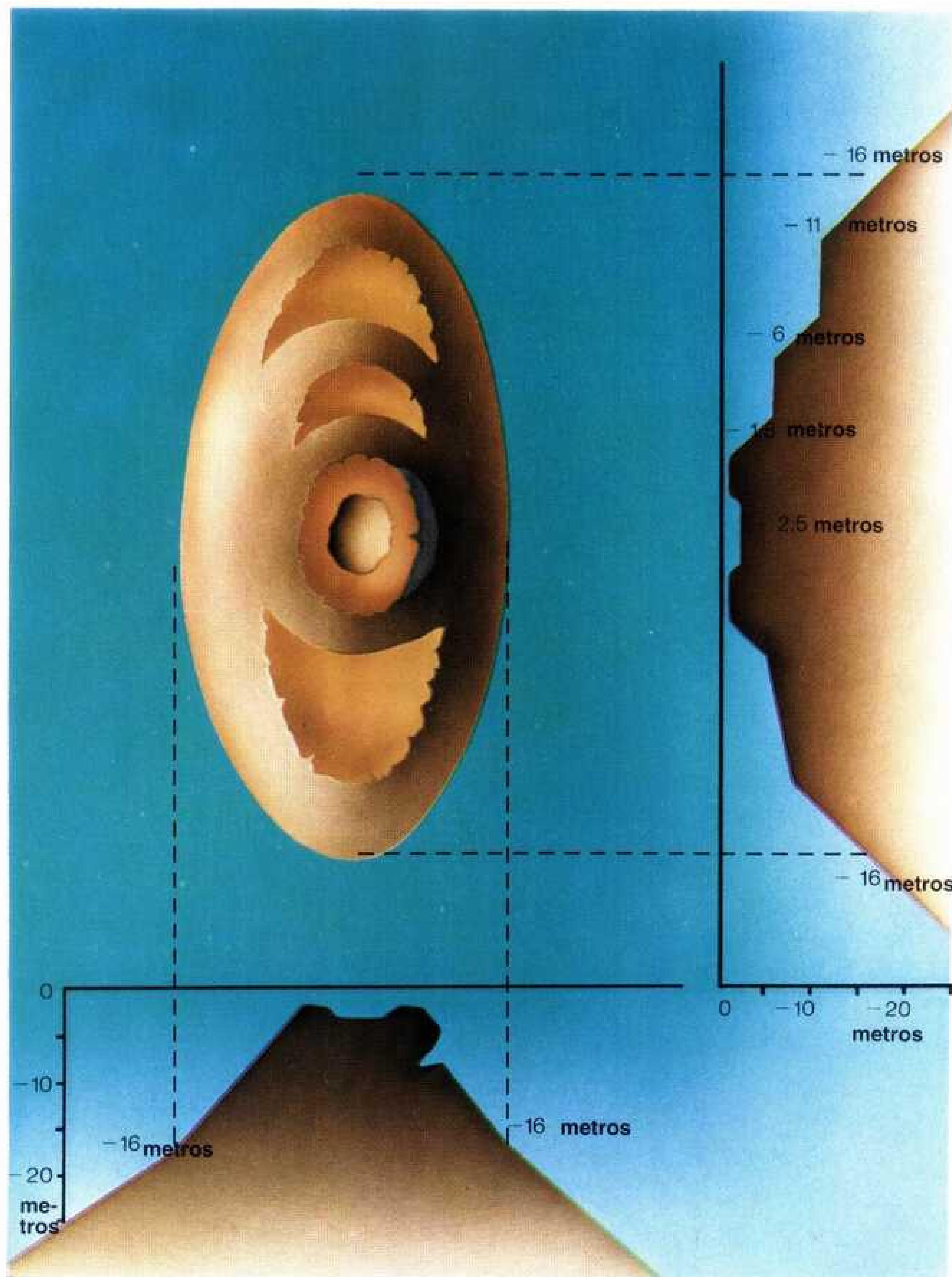
La constante transformación de los ecosistemas es una característica de la vida. Los arrecifes coralinos se cuentan entre los medios naturales más productivos y más ricos en especies. Aunque necesitan unas condiciones ecológicas muy estrictas para poder crecer (temperatura y salinidad del agua, luz...), son particularmente inestables. Poseedores de una vida multicolor prodigiosamente variada, son también frágiles y se reequilibran constantemente.

Esta característica ha de ser subrayada: el hombre no debe intervenir de cualquier forma en estos delicados ecosistemas. Los arrecifes coralinos son actualmente pun-



tos de atracción de los turistas; se construyen en ellos puertos, pistas de aterrizaje para los aviones, hoteles, etc. Casi siempre se emplean para construirlos cabezas de coral que se extraen directamente del arrecife. Es un procedimiento peligroso. En muchos lugares, el equilibrio del atolón se ve amenazado por estas extracciones, y, si continuamos atacando a la masa coralina, el arrecife posiblemente morirá.





«Faros» singulares. El dibujo de la izquierda muestra la estructura de un «faro» coralino; se llama así a una especie de arrecife en miniatura en el que distinguimos una superposición de plataforma que corresponde a antiguos niveles del mar. Este tipo de arrecife se observa con frecuencia en el océano Indico. En el dibujo de abajo se han indicado las profundidades de la laguna de Tagula, cerca de Nueva Guinea. Esta laguna es interesante de estudiar, ya que se pueden evidenciar fenómenos complejos de hundimiento del zócalo y de variaciones del nivel del mar. La gran fotografía de la izquierda muestra un aspecto de meseta de un atolón de la Polinesia francesa.



Los atolones sobrealzados



UNO de los tipos de arrecife más extraño es el de los atolones sobrealzados. Es una estructura poco común, pero se encuentran en el sur de Japón, en particular en la región del Mianami Daito Jima. El proceso de formación de estos atolones es complejo; el crecimiento del arrecife está precedido por una serie de plegamientos del terreno. El volcán inicial emerge en varios alzamientos. El anillo coralino se edifica normalmente, pero es situado por encima del nivel del mar por potentes fuerzas tectónicas que gobiernan la elevación del volcán. Al cabo de un tiempo, nos encontramos con una estructura coralina muerta, que domina varios metros el nivel del océano, y que rodea una llanura interna fértil (generalmente explotada por el hombre), en cuyo centro se levantan los restos del cono eruptivo.

El anillo muerto de roca coralina es llamado *makatea,* que significa «roca blanca» en polinesio. En las islas Tuamotú existe un atolón sobrealzado que lleva por cierto esta denominación. Podemos ver otros ejemplos de estas estructuras en Malgaia y Atiu, en las que la laguna original, actualmente seca y cultivada, ha sido llamada «laguna de Taros». Las paredes del arrecife emergido son rápidamente atacadas por los agentes erosivos, en especial por el viento y la lluvia. Esculpen relieves de tipo cárstico, con profundas grutas, cavernas, dolinas, lapiaces...

Algunos atolones situados cerca de los bordes de los continentes, en regiones en las que las placas tectónicas sufren grandes movimientos (afrontándose o levantándose), tienen estructuras complejas. Esto ocurre, por ejemplo, en las islas Lealtad, al este de Nueva Caledonia (Mare, Lifu, Uvea). En la isla de Woodlark o Murua, que forma parte del archipiélago Trobiand, que se encuentra al este de Nueva Guinea, se observa un atolón sobrealzado, una barrera y otros tres atolones normales, organizados en un conjunto aparentemente muy extraño.

Algunos atolones edificados en regiones del océano biológicamente muy productivas y muy ricas en plancton, han sido colonizadas desde hace siglos por las aves marinas. Estas amontonaron día tras día sus excrementos y los restos de peces que no son comidos. La acumulación de estas



Los atolones sobrealzados. *Los esquemas de la página de la izquierda muestran las fases de la formación de una isla con barrera coralina sobrealzada. 1) Volcán original. 2) Volcán hundido. 3) Nuevo surgimiento del cono provovocando la elevación del fondo oceánico. 4) Subdivisión parcial de la montaña. 5) Formación del arrecife. 6) Transformación del arrecife en barrera. 7) Nuevo alzamiento general. Arriba del todo: la isla de Mangaia, del archipiélago Cook. Arriba: un arrecife sobrealzado.*

materias orgánicas —o guano— constituye la riqueza de los arrecifes de las islas Navidad, en el océano Indico, y sobre todo de Nauru, en el Pacífico occidental. Los habitantes de Nauru gozan de rentas *per capita* cercanas a las de los emiratos petroleros, gracias a las divisas que obtienen con la venta del guano como abono. En algunas zonas muy activas de la corteza terrestre, los flujos térmicos modifican incesantemente el aspecto de los arrecifes.

En las regiones del océano en las que el zócalo se levanta, se observan auténticos «atolones en escalera». Este fenómeno ocurre particularmente cerca de los márgenes de las Indias orientales, sobre todo en el mar de las Flores, en el mar de Banda, en las islas Mentawai, cerca de Timor y cerca de Kisar. En Timor podemos recorrer en automóvil la ruta de Kupang, en la dirección del centro de la isla; hasta una altitud de cerca de 1.000 metros encontramos coral debajo de la carretera: sorprendente manifestación de la potencia de los procesos tectónicos... En el caso de Kisar, los arrecifes coralinos rodean completamente un viejo cono volcánico erosionado; el coral, más resistente que la roca ígnea, forma sobre ella espectaculares esculturas. Los arrecifes sobrealzados más notables son, sin embargo, los de la costa de Finschhagen, en Nueva Guinea. Los modernos métodos de muestreo y de datación por isótopos radiactivos han permitido trazar su geografía y su historia. Estas formaciones coralinas se escalonan, en función de su edad, desde por debajo de la superficie del mar, hasta varios cientos de metros de altitud. Los que viven en la actualidad fijando el carbonato cálcico por debajo de la superficie se hallarán fosilizados al aire libre dentro de unos siglos. Las más antiguos son contemporáneos de las viejísimas terrazas coralinas fósiles que hallamos en las Bermudas o en el Mediterráno occidental.

Barreras insulares y lagunas

EN las zonas propicias para el crecimiento de los corales encontramos atolones en todos los estadios de desarrollo. El caso más simple, y también más primitivo, es el del cono volcánico todavía emergido bordeado por una sola barrera coralina marginal. La gran isla de Hawai es un buen ejemplo de esta categoría de arrecifes.

Los atolones coralinos jóvenes, dotados de una pendiente muy abrupta del lado del mar, engloban lagunas estrechas y poco profundas, a menudo con una gran abertura hacia alta mar. El cono volcánico residual sigue siendo muy aparente, aunque hay señales palpables de su derrumbamiento progresivo. Estos atolones son especialmente frecuentes en las islas Sociedad, en Tahití y en Moorea.

El estadio siguiente es aquel en el que el cono volcánico, erosionado y sumergido poco a poco, se halla representado tan sólo por su cumbre, en la que se abre el cráter. El atolón comprende un amplio arrecife y una laguna de amplias dimensiones. La barrera coralina, ancha y bien diferenciada, se subdivide en numerosos islotes que afloran. Un maravilloso ejemplo de este tipo de tierras es la encantadora isla de Bora-Bora, a 250 kilómetros al noroeste de Tahití.

La tercera etapa es aquella en la que el cono volcánico ha desaparecido prácticamente como tal, o existe sólo como rocas dispersas en medio de una laguna muy grande y muy profunda. Esto ocurre particularmente en la isla de Truk, en el archipiélago de las Marshall. La profundidad y las grandes dimensiones de la laguna de Truk habían seducido al estado mayor japonés durante la segunda guerra mundial; lo esencial de la flota nipona se refugiaba en ella, y allí fue bombardeada el 17 y el 18 de febrero de 1944 por los americanos, tomando la revancha de Pearl Harbour. (El equipo de Cousteau rodó una película en estas aguas: *La laguna de los barcos perdidos.*)

Puede ocurrir que estas islas coralinas sigan hundiéndose bajo el agua después de que el volcán haya desaparecido.





La isla de Bora-Bora. *Verdadera maravilla del Pacífico, la isla de Bora-Bora, que forma parte del archipiélago de la Sociedad, en la Polinesia francesa, es un ejemplo perfecto de atolón en vías de formación. El volcán central se hunde progresivamente en el mar. Dentro de unos milenios habrá probablemente desaparecido por completo. El mapa evidencia la morfología de la isla, cuyos bordes septentrionales y orientales están cubiertos por una exuberante vegetación. Entre el centro volcánico del sistema y la barrera se extiende una gran laguna en la que el agua del océano penetra por pequeños canales (flechas estrechas) y de la que vuelve a salir por un gran paso (flecha ancha).*



Si el proceso de inmersión prosigue, los corales mueren y nos encontramos pronto en presencia de una simple montaña submarina —de un guyot, como dicen los geomorfologistas—. Muchos guyots no tienen cobertura coralina. Este hecho pareció inexplicable, pero se supone que es porque se hundieron demasiado rápidamente, no permitiendo a los pólipos producir arrecifes; o bien su inmersión se produjo en un período climático frío, que no favoreció el crecimiento coralino. Los atolones del Pacífico se organizan en grandes arcos más o menos regulares (Hawai-Emperador, archipiélago Sociedad, etc.). Esto se debe al juego de la placa tectónica local, que deriva lentamente hacia el noroeste por encima de varios «puntos calientes», lugares privilegiados de la corteza terrestre en los que las grandes corrientes de convección del manto del globo florecen en ramilletes apenas unos kilómetros por debajo de la superficie.

Otros arcos insulares corresponden a las áreas donde una placa tectónica se hunde bajo otra; las islas volcánicas creadas de esta forma se adornan con corales, con la condición de que el agua sea lo suficientemente salada, clara y cálida. Así nacieron, por ejemplo, los atolones de las Marianas, de las Carolinas, de las Tonga, etcétera.

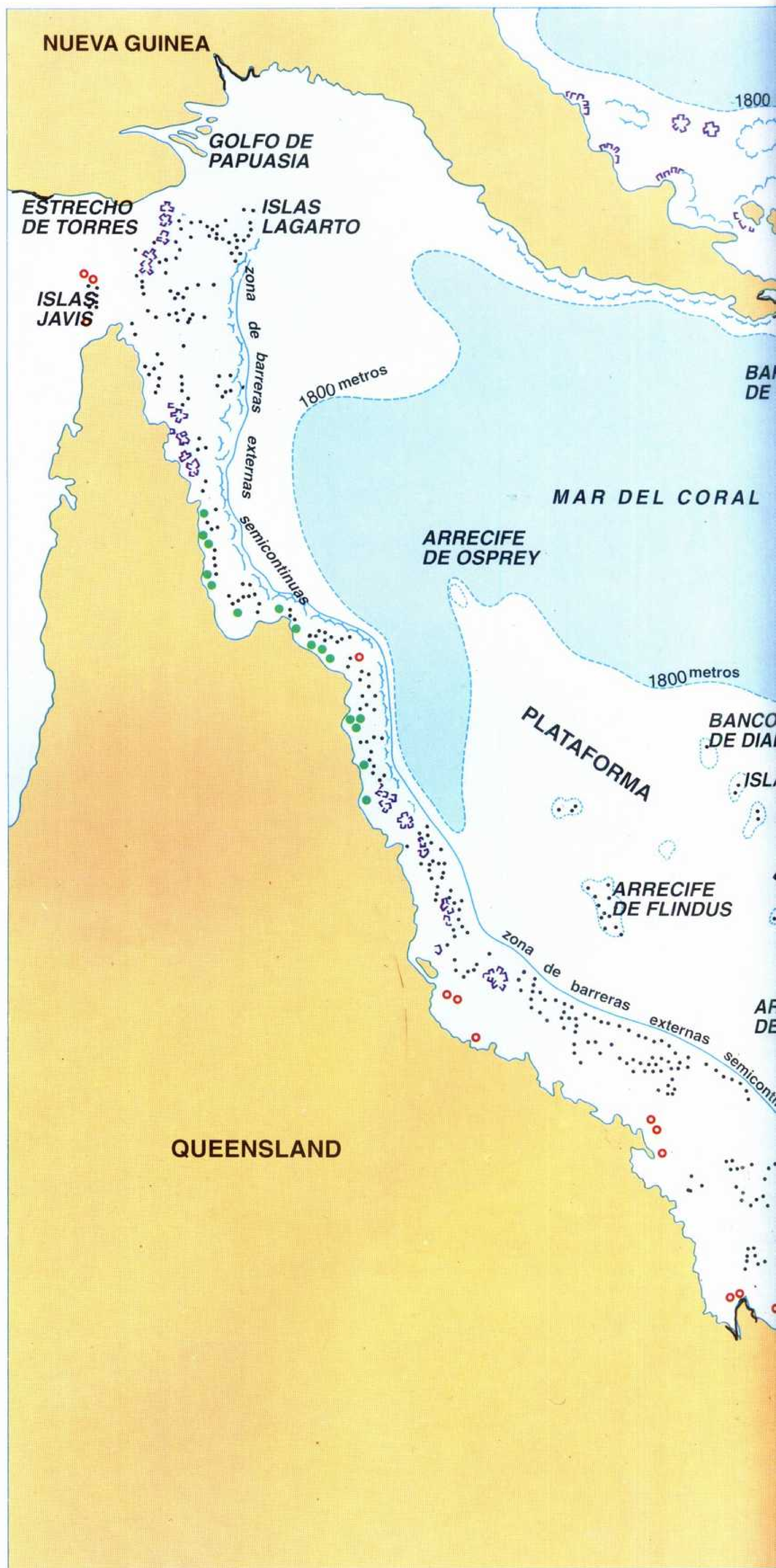
Las barras continentales

Si los atolones tienen un volcán marino como soporte, las barreras continentales reposan sobre la plataforma del mismo nombre. Existen muy pocas en el mundo. Las dos principales —la Gran Barrera australiana y el arrecife de Belice— están situadas prácticamente en sus antípodas. Se encuentran otras al este de Nueva Guinea (barrera de Taguta), en las cercanías de Nueva Caledonia y en el sudeste de Borneo (Kalimantan). Las otras son más pequeñas. Citaremos, entre las grandes barreras fósiles, a la de los cayos de Florida y de las Bahamas. Los corales constructores edifican un imperio cuando encuentran una gran plataforma continental poco profunda y situada en aguas tropicales. Miles de millones de pólipos segregan un poco de carbonato cálcico años tras año, generación tras generación; estos miles de millones de gramos de roca constituyen pronto una compleja red de murallas, espigones, torres y escollos que el océano ataca y alimenta al mismo tiempo, y en los que se refugian miles de especies animales. Los canales que recorren las mareas desembocan en lagunas de muy diversas conformaciones. En algunas zonas, la arena se acumula y forma largos bancos que afloran. En otros lugares, los depósitos de lodo permiten a los manglares anclar sus nudosas raíces. Las barreras continentales han matado a muchos hombres. Muchos navegantes, en la época de los descubrimientos, se destrozaron contra ellas durante las tempestades, arrastrados irremediablemente por el viento hacia los arrecifes. El mar de Coral y el estrecho de Torres, donde los canales navegables serpentean entre los corales de la Gran Barrera, impresionaron a todos los descubridores de los mares del Sur y descorazonaron para siempre a algunos de ellos: Cook, Bougainville y La Pérousse hablan de ellos con admiración y temor.

Actualmente son los hombres los que amenazan a las barreras de coral. La Gran Barrera australiana, expuesta al pillaje de los aficionados de trofeos submarinos (ramas de corales, conchas, peces de acuario), ha perdido gran parte de su riqueza en los últimos treinta años. Las excesivas capturas que se han realizado (especialmente de tritones) han desequilibrado a veces al medio y favorecido la proliferación de las estrellas de mar «coronas de espinas» *(Acanthaster plancii)*, que atacan el coral.

En otras regiones, el coral es aniquilado por la contaminación. Esto ocurre desgraciadamente en una gran parte de la maravillosa barrera de Nueva Caledonia, en la que los corales desaparecen asfixiados por la tierra que las explotaciones de níquel vierten sobre la plataforma.

Los arrecifes coralinos son en su conjunto





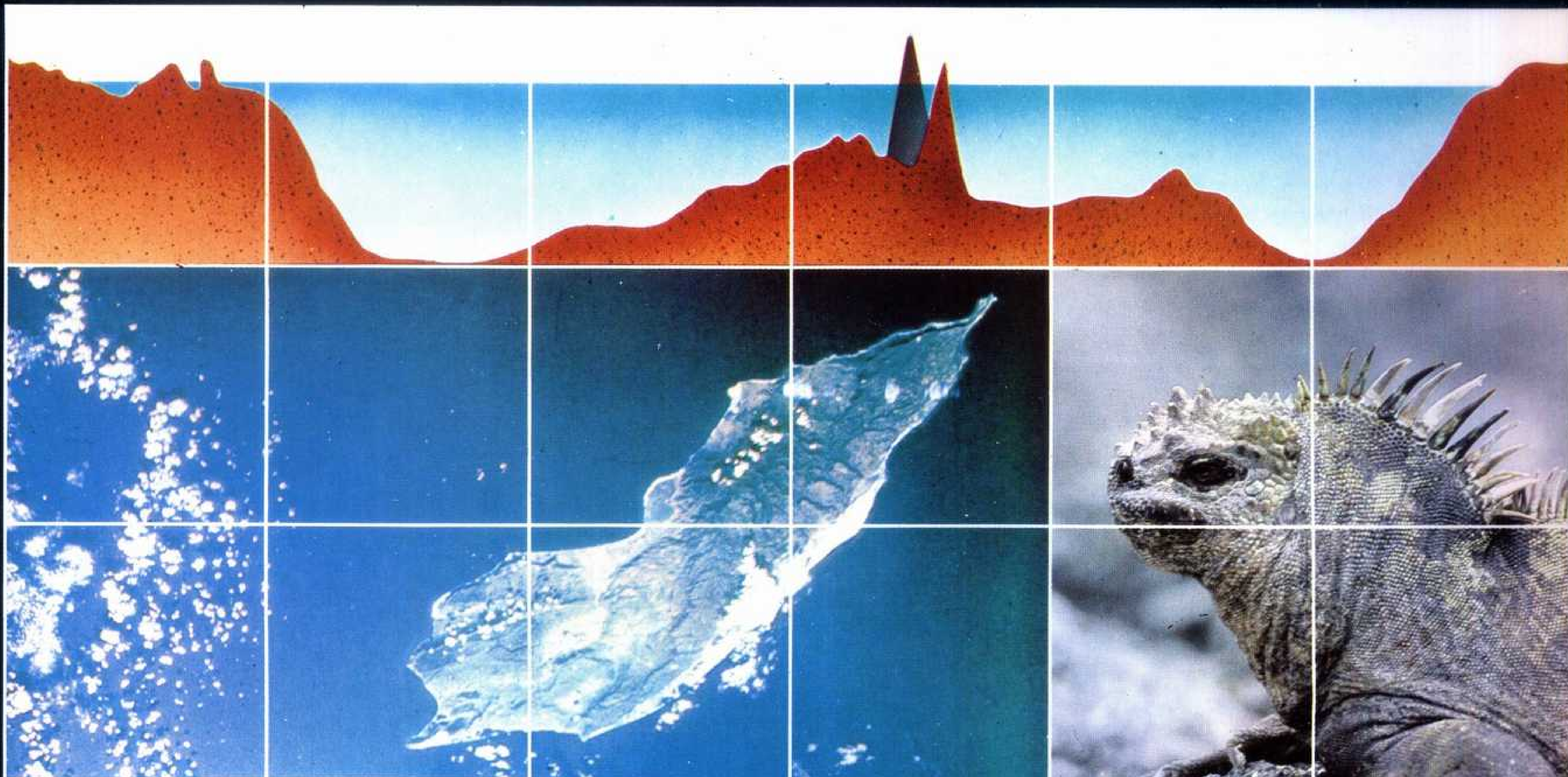


La Gran Barrera australiana. *El mapa de esta doble página muestra la enorme extensión de la Gran Barrera australiana, que corona la plataforma continental de Queensland y que se prolonga hasta Nueva Guinea. Es un universo de coral en el que se codean centenares de especies de celentéreos constructores y ofrecen cobijo a los otros animales marinos. Verdadera maravilla natural, este inmenso arrecife sufre actualmente muchas degradaciones provocadas por el hombre. Las fotografías de esta página muestran, arriba, un aspecto de la Gran Barrera, y abajo, un coral fósil descubierto en Florida.*

formaciones jóvenes —en el sentido geológico del término— y frágiles, pero el hombre no los respeta más por ello. El flujo de visitantes a los mares del Sur se traduce en el saqueo de algunas barreras y de algunos atolones. Se construyen hoteles, pistas de aterrizaje y puertos deportivos. Se destina un maravilloso medio al apetito de los promotores y a la estupidez egoísta de los turistas. Lo más triste, por supuesto, es la utilización de los atolones como lugar de experimentación nuclear; los habitantes de Bikini y de Eniwetok, donde los americanos ensayaron su bomba H hace ya treinta años, todavía no han podido volver a sus islas. Lo intentaron hace unos diez años; pero se les tuvo que evacuar por segunda vez, ya que la tasa de radiactividad residual en el suelo y en la laguna era demasiado alta. Los mismos problemas se plantearán durante decenios, o incluso siglos, en Mururoa, donde Francia realiza sus propias pruebas.

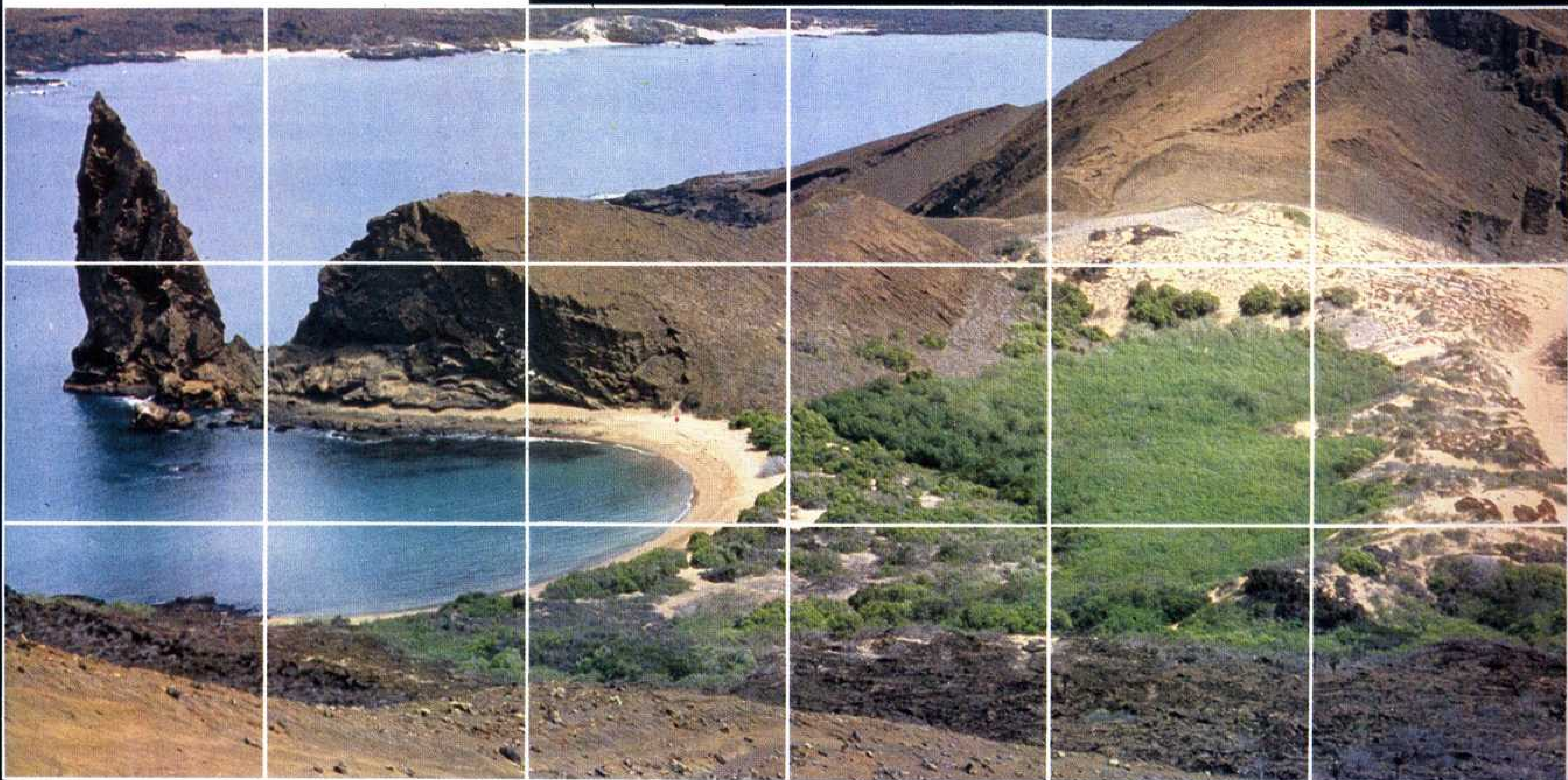


Los polígonos de tiro atómico. *Fueron los americanos los primeros en tener la idea de utilizar los atolones coralinos como emplazamiento de sus experimentos nucleares (arriba). Hicieron la primera prueba atómica el 17 de mayo de 1948 en la isla de Bikini, del archipiélago de las Marshall. Continuaron en esta isla y en las de Eniwetok (abajo: una vista del cráter excavado por las explosiones en Eniwetok). Los habitantes de Bikini y Eniwetok no han podido volver a sus casas después de más de un cuarto de siglo desde el final de los experimentos: la radiactividad sigue siendo demasiado elevada. Desoyendo las voces que en todo el mundo se alzan contr esta práctica, Francia por su parte, continú realizando sus prueba nucleares en la isla d Mururoa.*





La vida en las islas



La biogeografía

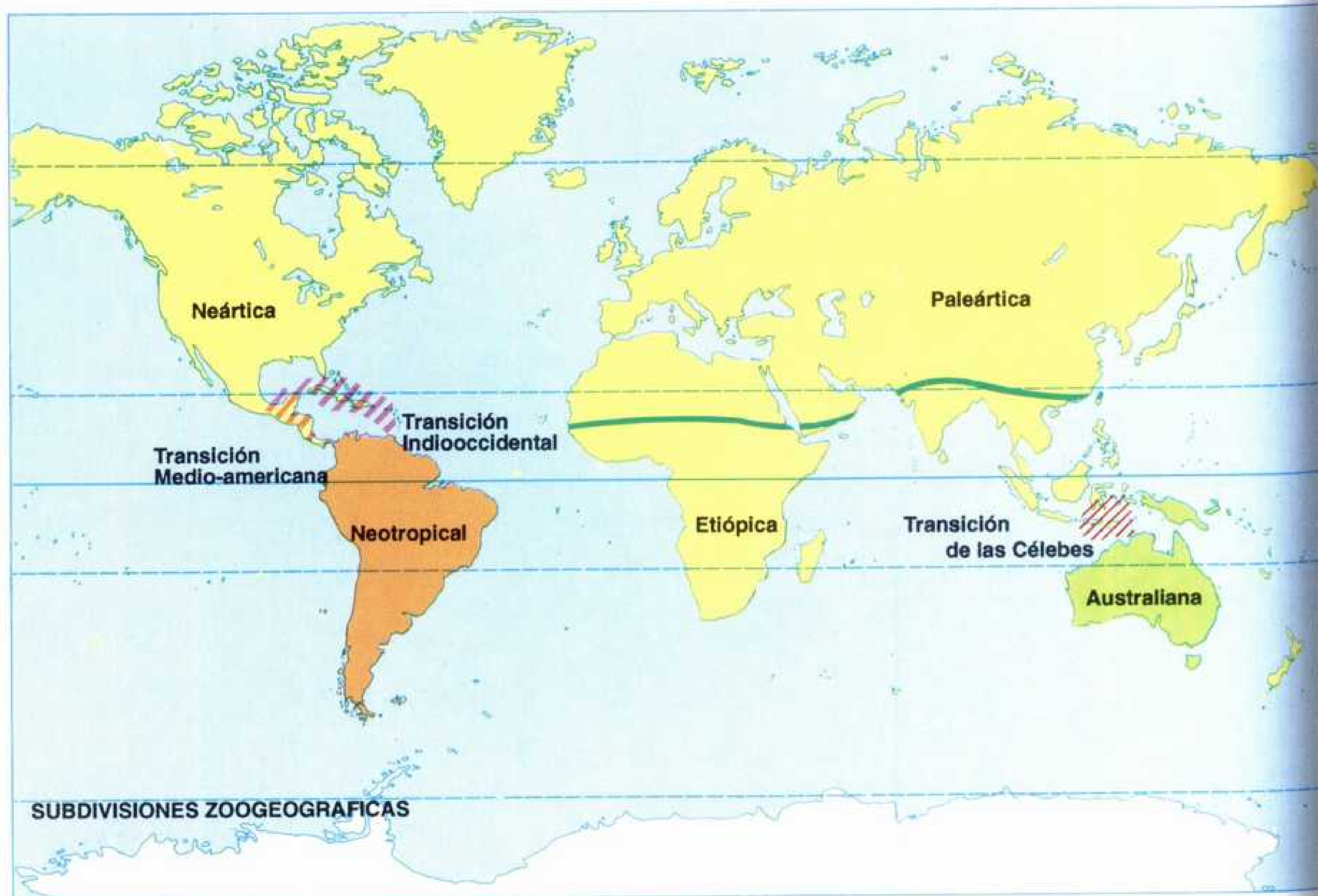
La distribución de las especies vivas depende, por una parte, de las condiciones ecológicas que necesitan para vivir y, por otro lado, de la historia general de la evolución vegetal y animal en relación con las modificaciones que han afectado a la superficie de la Tierra durante las épocas geológicas. Tal especie ha podido desarrollarse y proliferar en un medio ecológico dado, mientras que ha sido eliminada de un medio completamente semejante, a poca distancia, por un competidor más poderoso.

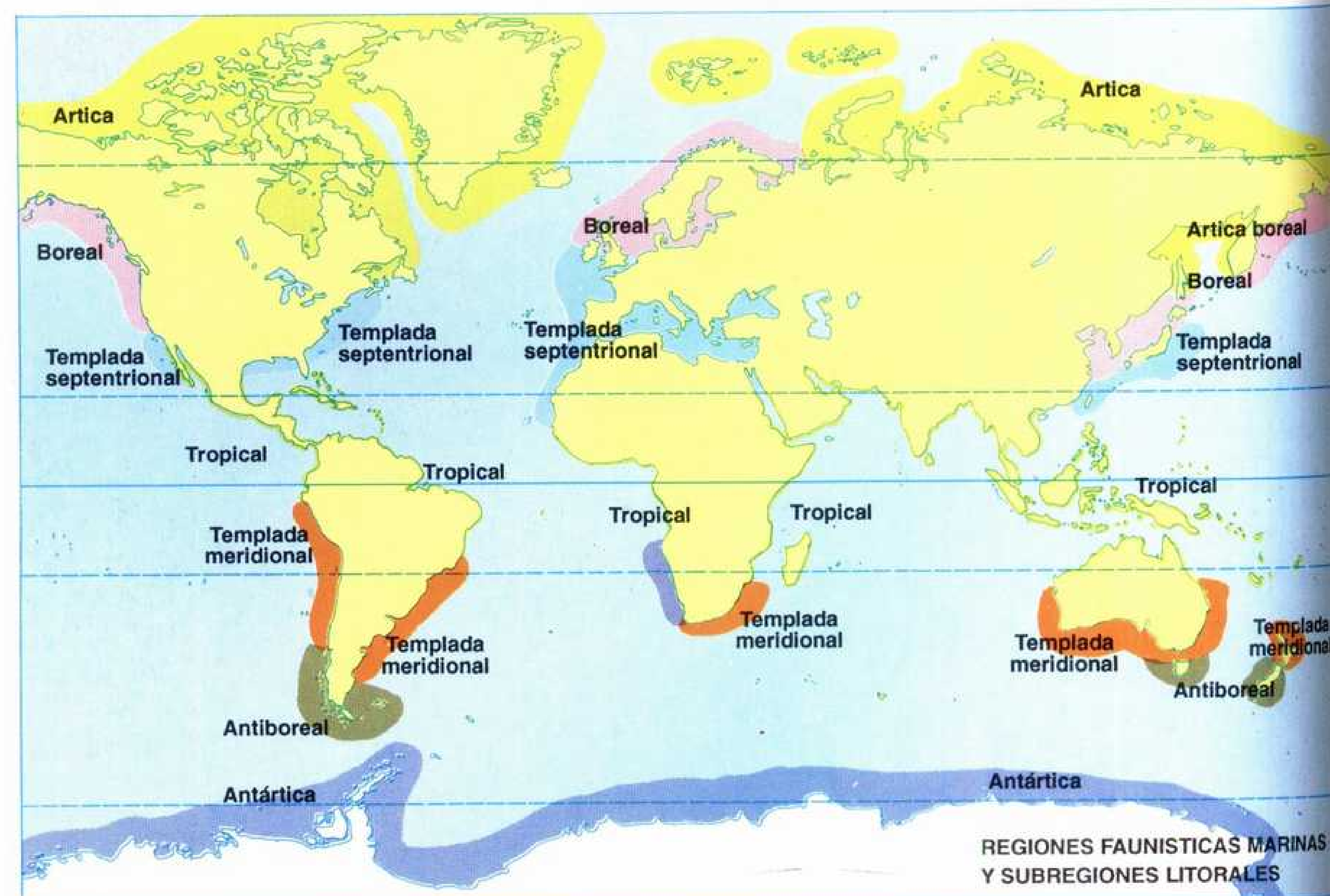
La biogeografía está en deuda con los trabajos del británico Alfred Russel Wallace, ese contemporáneo de Darwin que encontró casi al mismo tiempo que éste la explicación de la evolución por selección natural. Wallace se dedicó a describir cada región de la Tierra, refiriéndose en especial a sus poblaciones vegetales y animales. Por supuesto, las divisiones políticas introducidas por el hombre no tienen ninguna influencia sobre la distribución de los seres vivos; las entidades geográficas y biológicas de Wallace no se corresponden nunca con los estados de los hombres. El mar puede también describirse con una yuxtaposición de «provincias biológicas», cada una de ellas caracterizada por su fauna y su flora.

Hemos dicho que la distribución de las especies depende también de la historia de la Tierra. En el seno de un mismo grupo botánico o zoológico (los hongos, las aves, los reptiles, etc.) podemos observar ramas divergentes. Algunas, de tendencia cosmopolita, han enviado representantes a la mayoría de las regiones. Otras han colonizado únicamente superficies medias. Otras, llamadas endémicas, se han localizado en pequeñas zonas, a veces en un solo valle o en una única isla. Cuando estudiamos la historia geológica local, conseguimos a menudo entender qué procesos tectónicos (elevación o hundimiento de una cadena montañosa) han aislado una especie de sus congéneres. El avance y el retroceso de los glaciares durante las glaciaciones y las variaciones correspondientes del nivel del mar han sido en gran parte responsables de la existencia de estos aislamientos. Para cumplir su papel, la biogeografía necesita de lo que podríamos llamar biogeología y «biohistoria».

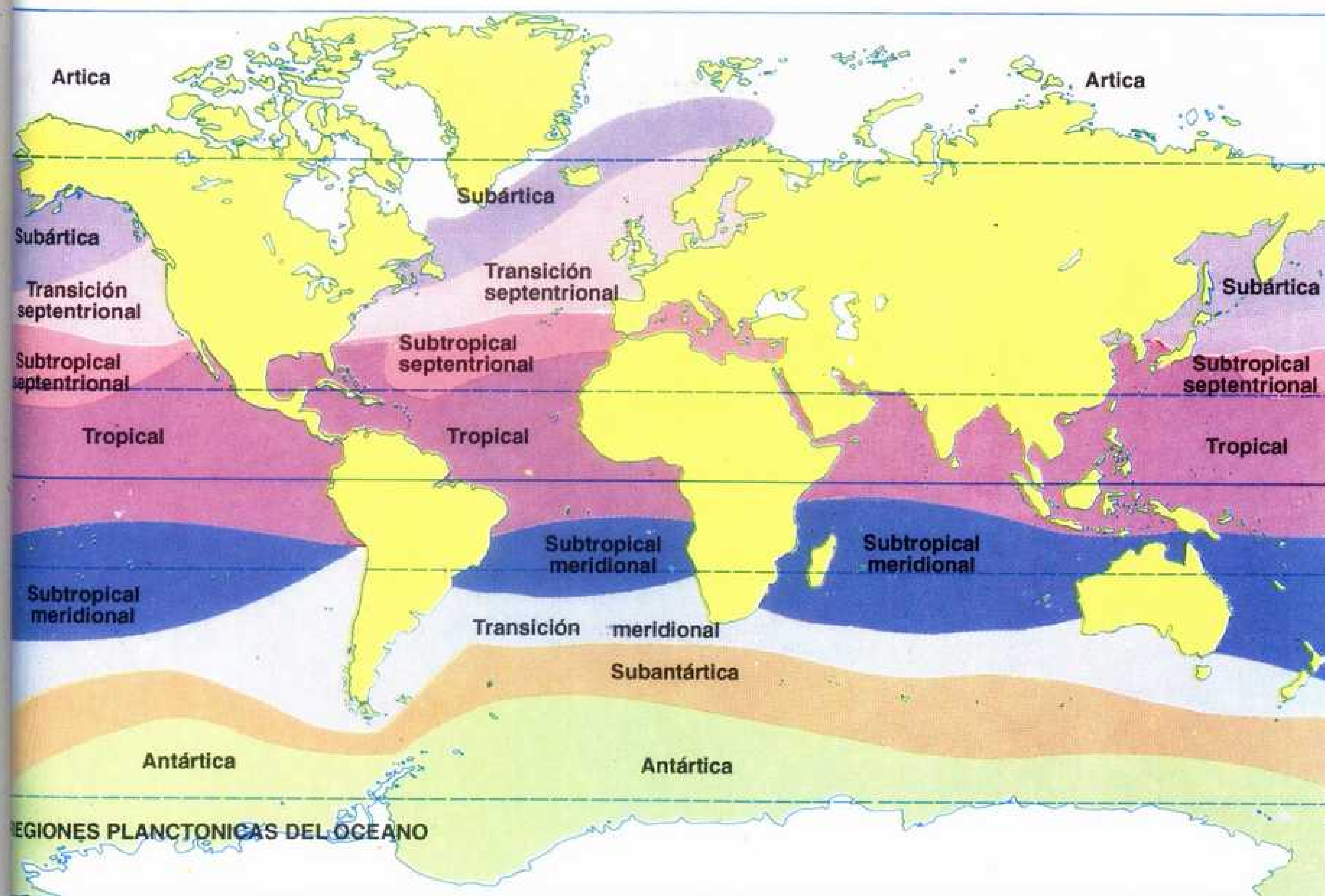
La biogeografía no se conforma con atribuir territorios a las diferentes especies. Estudia sus poblaciones: su densidad, su evolución, su historia y, si es posible, su futuro. Algunos animales y plantas viven en gran abundancia en casi cualquier lugar; esto ocurre con algunas diatomeas en el mar o con la mosca doméstica en tierra firme. Otros pululan, pero en territorios relativamente restringidos: es el caso de las gambas eufasiáceas que llamamos *krill*, en los mares polares. Otros tienen grandes áreas de distribución geográfica, pero efectivos más reducidos; es lo que ocurre con las orcas o los cachalotes. Por último, otros tienen al mismo tiempo poblaciones muy restringidas y reinos minúsculos: por ejemplo, la orquídea *Orchis cretica*, que vive en Creta, o la gaviota de Audouvin, limitada a Cerdeña, Córcega y algunas islas cercanas.

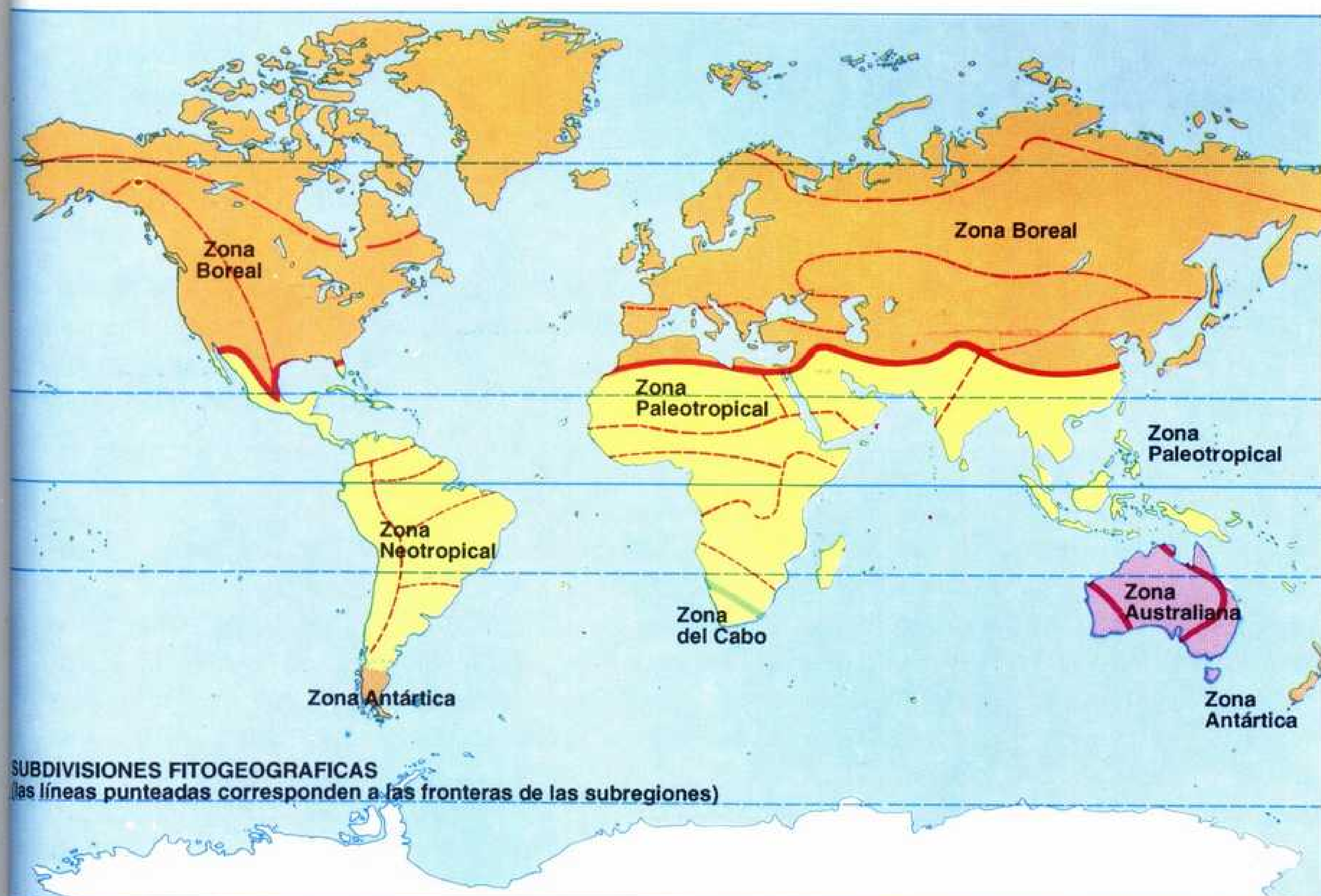
En la naturaleza nada es jamás realmente estable ni permanente. Una población de hierbas, de cangrejos o de paseriformes varía cada año, crece cuando las condiciones ecológicas mejoran, decrece cuando se degradan. A medio plazo, la misma





La biogeografía. *Los naturalistas se han dado cuenta muy pronto de que la Tierra podía ser dividida en un cierto número de grandes regiones, cada una de ellas caracterizada por su fauna y su flora. Es el objeto de la ciencia que llamamos biogeografía. Uno de los factores esenciales de esta repartición es el clima (temperatura, pluviosidad, etc.). Desde este punto de vista existen grandes regiones biogeográficas que dependen directamente de las latitudes. Pero los diferentes continentes tienen también su propia historia, que explica alguna de sus particularidades florísticas y faunísticas. Los mares por su parte, deben ser divididos, igual que las tierras, en zonas biogeográficas. Los cuatro mapas de esta doble página muestran cómo pueden realizarse algunas de estas divisiones.*





población puede mantenerse, aumentar o disminuir sus efectivos, según la intensidad de la competición con otras especies. Pero a largo plazo todas las poblaciones acaban por desaparecer, y la Tierra cambia de aspecto. Los climas se modifican; el equilibrio de los ecosistemas se altera, y con él a veces todo el conjunto de la biosfera.

Si el hombre hubiera vivido entonces, hubiera podido estudiar la distribución biogeográfica de muchas especies de dinosaurios que se desarrollaron en el Secundario (los paleontólogos tratan de hacerlo *a posteriori* con la ayuda de los fósiles de que disponen, pero su trabajo tiene forzosamente grandes lagunas). Aunque hoy podemos escribir la historia de las ballenas francas y de los elefantes, no es seguro que nuestros descendientes lo puedan hacer durante mucho tiempo; pero en estos casos, la evolución de las condiciones naturales habrá tenido menos responsabilidad en la extinción de estas especies que la avidez y la estupidez de los hombres. Cada región del mar o de la tierra alberga decenas de especies animales y vegetales, incluso aquellas que nos parecen desiertas. Algunas hierven literalmente de plantas y animales de todo tipo. No es fácil encontrar en estas condiciones especies-tipo que caractericen cada zona.

Cuando queremos abordar este trabajo tenemos tendencia a privilegiar a algunas plantas (el trigo, la vid) o a animales superiores (aves, mamíferos). Es lo que ya hizo Wallace, para quien, por ejemplo, Australia era ante todo el país de los marsupiales, y América del Sur el continente de los roedores. Pero muchas otras especies o grupos de especies podrían caracterizar a estas mismas regiones; así, ¿por qué no decir que Australia es la patria de los eucaliptos?

De todos modos, la geografía botánica es más fácil que la geografía zoológica. La razón reside que las plantas dependen mucho más del clima (luz, calor, hidrografía) que los animales; éstos, al vivir en su totalidad a expensas de la producción primaria de los vegetales clorofílicos, han conseguido poner a punto complejos procesos adaptativos que embrollan los mapas.

Alexander von Humboldt fue el primero que propuso, en el año 1804, dividir el globo terrestre en grandes áreas de vegetación, que correspondieran, *grosso modo,* con las latitudes. Su descripción es considerada válida, con pequeñas variantes, por los biogeógrafos modernos. Se distinguen:

1) La *tundra* polar, sin árboles, con arbustos enanos, pequeñas plantas de marismas y de turberas, hongos y líquenes, que la nieve cubre nueve meses al año.
2) La *taiga,* extenso bosque subpolar compuesto por coníferas y árboles que resisten al frío, como los abedules; los bosques de las montañas de las regiones templadas pueden incluirse en esta categoría.
3) El *bosque caducifolio* (de hoja caduca) y la pradera de las regiones templadas.
4) El *chaparral,* conjunto de pequeños árboles, arbustos y plantas a menudo aromáticas que caracterizan a las regiones de veranos secos y de inviernos suaves, y del que el matorral mediterráneo es un buen ejemplo.
5) La *estepa* continental, alfombra de gramíneas y plantas de bulbo o de rizoma, característica de las zonas con veranos muy cálidos y con inviernos muy secos.
6) El *semidesierto* y el *desierto,* que al acentuarse la sequía acaban por transformarse en suelos desnudos, y en los que las escasas plantas que consiguen resistir son coriáceas, espinosas o llenas de agua (plantas crasas).
7) La *sabana* tropical de hierba alta, a veces salpicada de bosquetes.
8) El *bosque ecuatorial* o pluvial, o también ambrófilo (del griego *ambros,* «lluvia»), con una vegetación exuberante compuesta por grandes árboles, o epífitas, etc., en el que pululan las aves, los insectos y los monos.

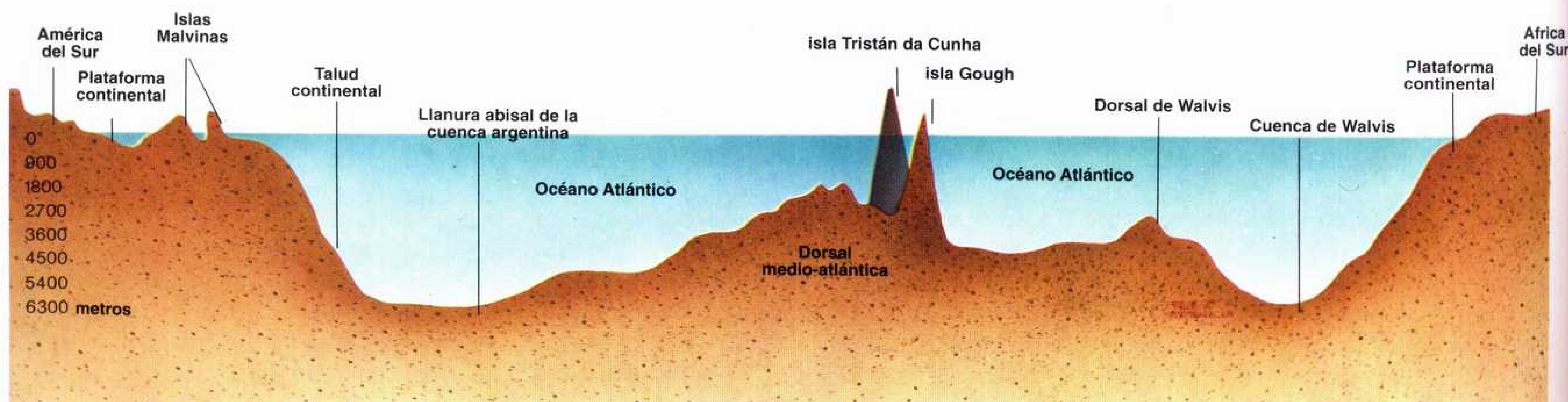
Las islas y los puentes de tierra



PARA los biogeógrafos está claro que cuanto más haya estado aislada una isla de las tierras continentales, más originales serán su fauna y su flora —y más ricas en especies endémicas—. La composición florística y faunística de una tierra insular depende de su historia geológica. Por supuesto, algunas especies que flotan, nadan o vuelan, pueden ir a colonizar en cualquier momento un trozo de tierra emergida en alta mar. Pero, en lo esencial, la singularidad de las poblaciones insulares depende directamente del tiempo que transcurre durante su desarrollo y evolución en solitario.

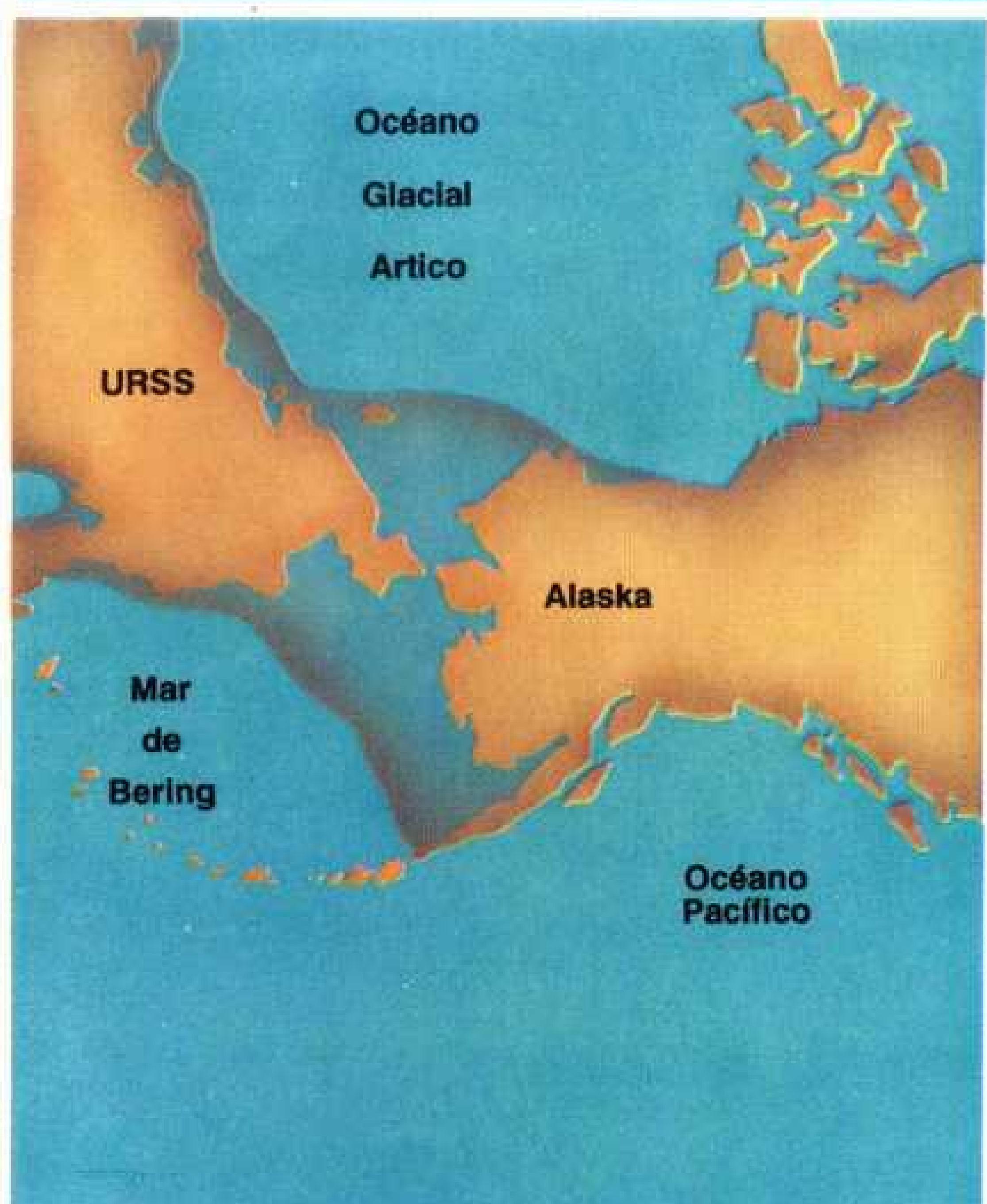
Las islas de la plataforma continental están en general separadas del conjunto de tierra firme únicamente por canales o brazos de mar poco profundos. Estos se secaron varias veces en el transcurso de la historia del globo, e incluso durante un pasado reciente. Hace unos 17.000 años, en el punto máximo de la última glaciación, el nivel general del mar estaba situado a 170 metros por debajo del actual. En esta época, el canal de la Mancha estaba seco e Inglaterra no era una isla. De la misma forma, el estrecho de Bering, sin agua, permitió el paso de una ola migradora humana llegada de Siberia, que pobló América del Norte. En algunos casos, estos brazos de mar, de más de 170 metros de profundidad, no se secaron completamente pero se hicieron mucho más estrechos que en la actualidad, y muchos animales terrestres pudieron atravesarlos nadando (o flotando sobre maderos).

Tan sólo las tierras insulares separadas de los continentes por fosas profundas y anchas pudieron conservar su flora y fauna originales. En determinados casos, los animales (o los hombres) pudieron aprovecharse del descenso del nivel del mar para colonizar una nueva tierra; después, cuando volvieron a subir las aguas, se quedaron aislados en su nuevo reino. Fenómenos de este tipo se han producido a







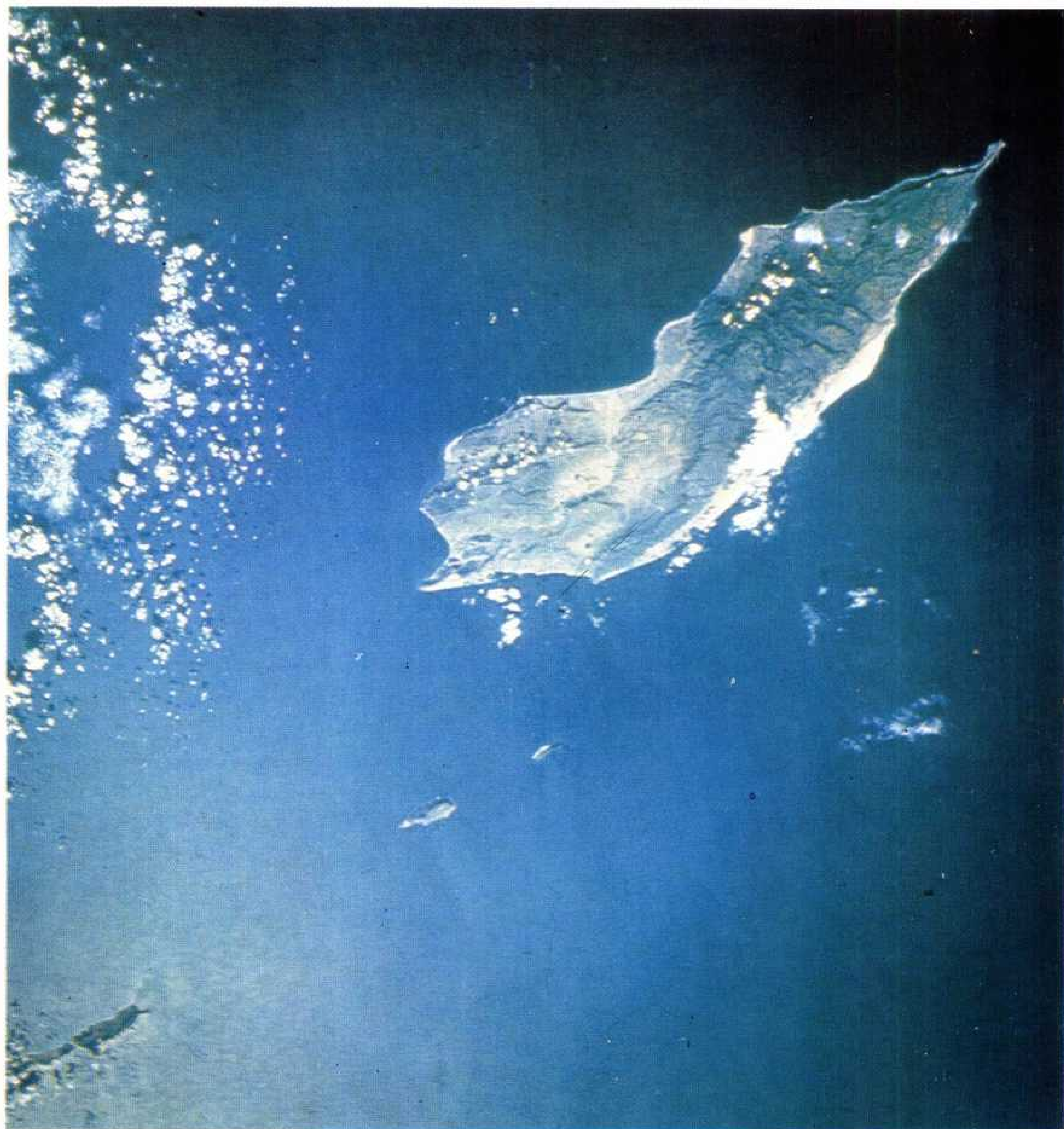


menudo. Por ejemplo, en Australia del norte se ha podido demostrar que dos grupos de aborígenes, que habitan dos islas cercanas, provenían del mismo tronco, pero que estaban separados desde la última subida de las aguas del Cuaternario, y que habían adquirido por separado, por una excesiva consanguinidad, características inmunológicas (grupos sanguíneos, RH) particulares.

De la misma manera, en el reino animal se ha comprobado que los wallabys de las pequeñas islas del oeste australiano han tenido tiempo de diferenciarse en un número de subespecies igual al de tierras insulares, desde el momento en que sus habitantes fueron separados por brazos de mar. Pero este proceso de diferenciación insular ya era bien conocido desde que inspiró a Charles Darwin en las Galápagos lo esencial de la teoría de la evolución de las especies por medio de la selección natural. Sabemos que para demostrar sus ideas, el gran naturalista inglés se apoyó esencialmente en las variaciones morfológicas que comprobó en los pinzones del archipiélago.

Las islas más alejadas de cualquier tierra, perdidas en medio de los océanos, son de origen volcánico. Es raro que sean muy antiguas, por la sencilla razón de que el suelo basáltico del océano es también muy joven (en tiempos geológicos) y que está en perpetua renovación. En estas islas existe efectivamente una flora y una fauna originales (como en las Galápagos, las Seychelles, las Hawai, etc.), a menudo diferentes de cualquier otra. Colonizadas por plantas y animales llevados por las corrientes (o llegados a nado o volando), deben en primer lugar encontrar su equilibrio ecológico general (clímax).

Las 25 mayores islas del mundo, con la excepción de Islandia, tienen un origen continental. Su gran antigüedad les ha permitido acoger a una flora y una fauna que se han diferenciado en un gran número de especies endémicas. Algunas de estas tierras, debido a las glaciaciones o a variaciones del nivel de los océanos, se vieron bruscamente unidas a los continentes por puentes de tierra; sus ecosistemas se trastornaron (sobre todo si entre los invasores figuraba el *Homo sapiens* o su antepasado el *Homo erectus*). Por el contrario, otras islas han vivido en solitario su destino desde hace millones de años y se transformaron, por consiguiente, en santuarios de un excepcional interés biológico.



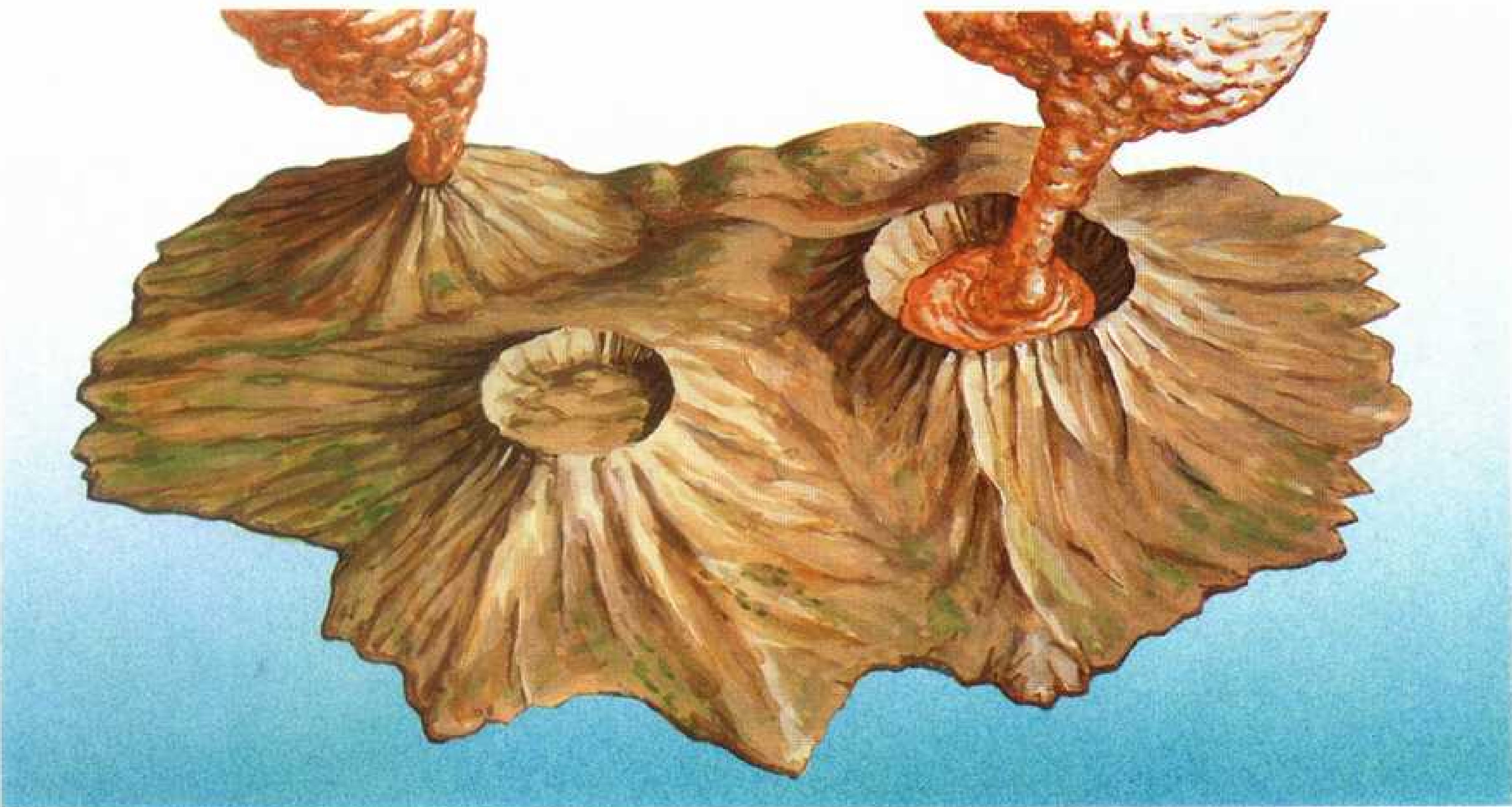
Islas volcánicas e islas continentales. *Los problemas de la conquista de las nuevas tierras no son los mismos para todas las especies vivas según se trate de islas continentales o volcánicas. En el primer caso, la colonización se realiza fundamentalmente gracias a los cambios tectónicos y al descenso del nivel del mar. En el segundo caso, la colonización es a veces muy lenta y depende de la llegada de algunas plantas pioneras. En esta doble página, seis situaciones diferentes: página de la izquierda, arriba: la isla de Surtsey, que surgió cerca de Islandia el 16 de noviembre de 1963; página de la izquierda, abajo: el caso de Tristán da Cunha; arriba, de arriba abajo: el istmo de Panamá, el archipiélaqo de Indonesia y el estrecho de Bering. A la derecha: la isla de Socotora, cerca del Yemen.*

Las barreras oceánicas

En tierra firme existen barreras infranqueables que impiden la migración de las especies, como las altas cadenas montañosas, los desiertos y los casquetes polares. Las barreras oceánicas son menos evidentes, pero también desempeñan su papel. Son creadas por los vientos, las corrientes, las variaciones de temperatura o por bruscos cambios de salinidad.

La colonización de las islas situadas lejos de cualquier tierra se realiza más o menos rápidamente según los casos; es evidente, por ejemplo, que un volcán submarino que emerge en medio del lecho de una corriente oceánica será poblado mucho más rápidamente por los animales y los vegetales que si estuviera situado en una zona de calma. El flujo oceánico hará vararse en sus costas a los frutos flotantes (cocos), a las hembras de tortuga a punto de poner, etc.

De forma general, los vientos (ya sean suaves y regulares o tempestuosos) juegan un gran papel en la diseminación de las especies, tanto vegetales como animales. Las semillas de muchas plantas están provistas de dispositivos (alas, paracaídas, etc.) que favorecen su transporte a larga distancia por vía aérea. Los animali-



Repoblamiento de la isla volcánica de Krakatoa después de la erupción de 1883		Isla de Krakatoa Superficia: 14 km²			
		1883	1908	1921	1983
Mamíferos		0	0	3	4
aves		0	16	36	41
reptiles	lagartos	0	2	3	5
	serpientes	0	0	1	1
	tortugas	0	0	0	0
anfibios		0	0	0	0
peces de aguas continentales		0	0	0	0
insectos		0	150	492	720
miriápodos		0	6	7	7
arañas		0	20	58	?
crustáceos terrestres		0	3	4	4
moluscos	terrestres	0	2	5	9
	de agua dulce	0	0	0	0
lombrices		0	2	3	4
plantas fanegógamas		0	103	142	219
helechos		0	12	42	52



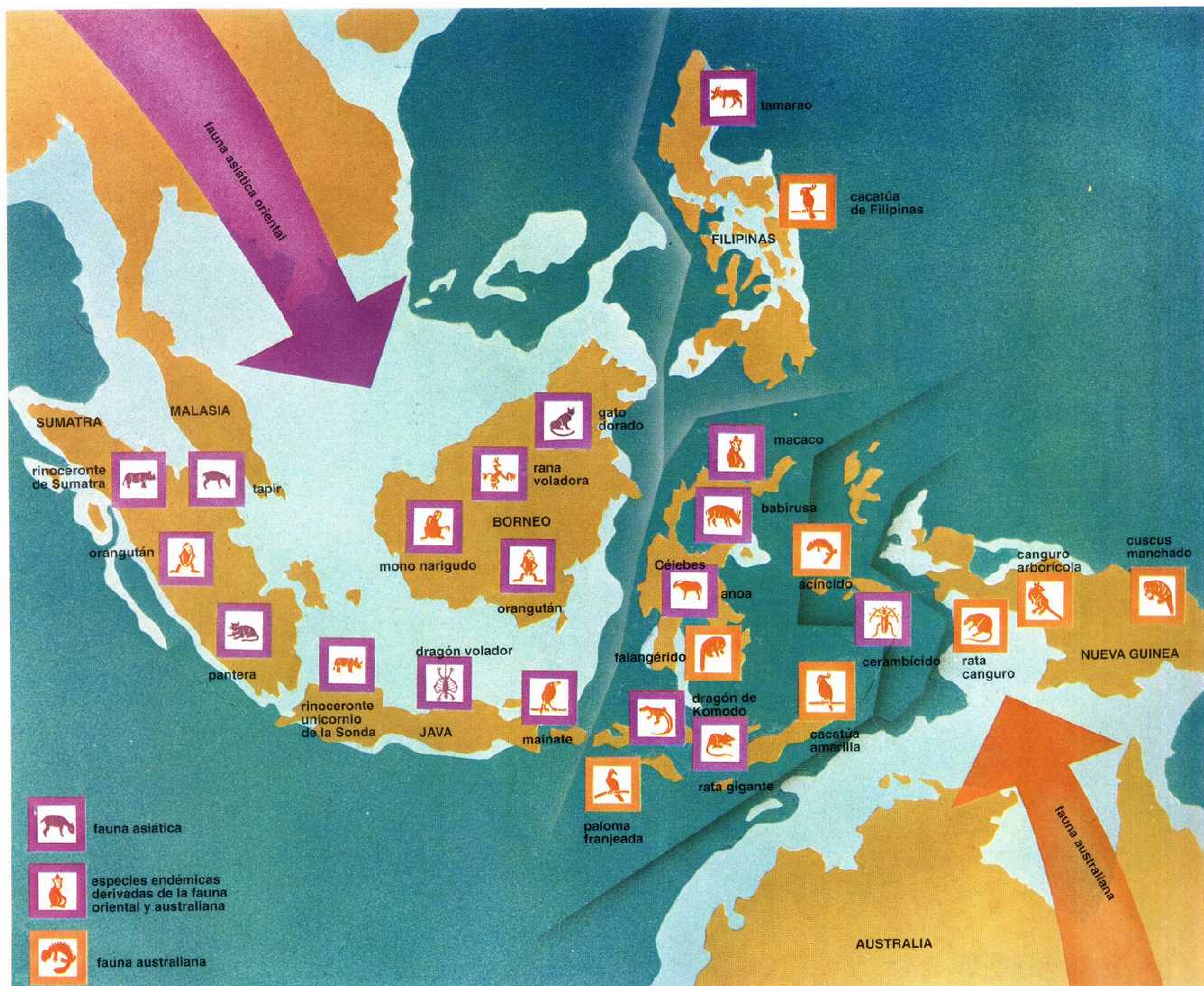
La colonización de las islas. *Los animales terrestres y las plantas pueden atravesar los brazos oceánicos de diversas maneras (llevados por las corrientes, con el viento, sobre maderos a la deriva, etc.). Los tres dibujos de esta página muestran las etapas de reconstitución de la flora de una isla volcánica, 20, 40 y 100 años después de su aparición. La tabla resume las fases de colonización de la isla de Krakatoa, después de la explosión que la destruyó en 1883. El mapa de la página siguiente diferencia las dos zonas faunísticas del archipiélago indonesio: la zona asiática oriental fue radicalmente separada de la zona australiana por la llamada línea de Wallace.*



tos se hacen transportar también por los vientos; algunas arañas, por ejemplo, tejen un hilo que les sirve de paracaídas. Los insectos alados viajan a veces utilizando la fuerza del viento a miles de kilómetros; algunas libélulas de Indonesia van hasta Australia y alcanzan incluso el atolón de Cocos-Keeling, a 2.200 kilómetros de distancia.

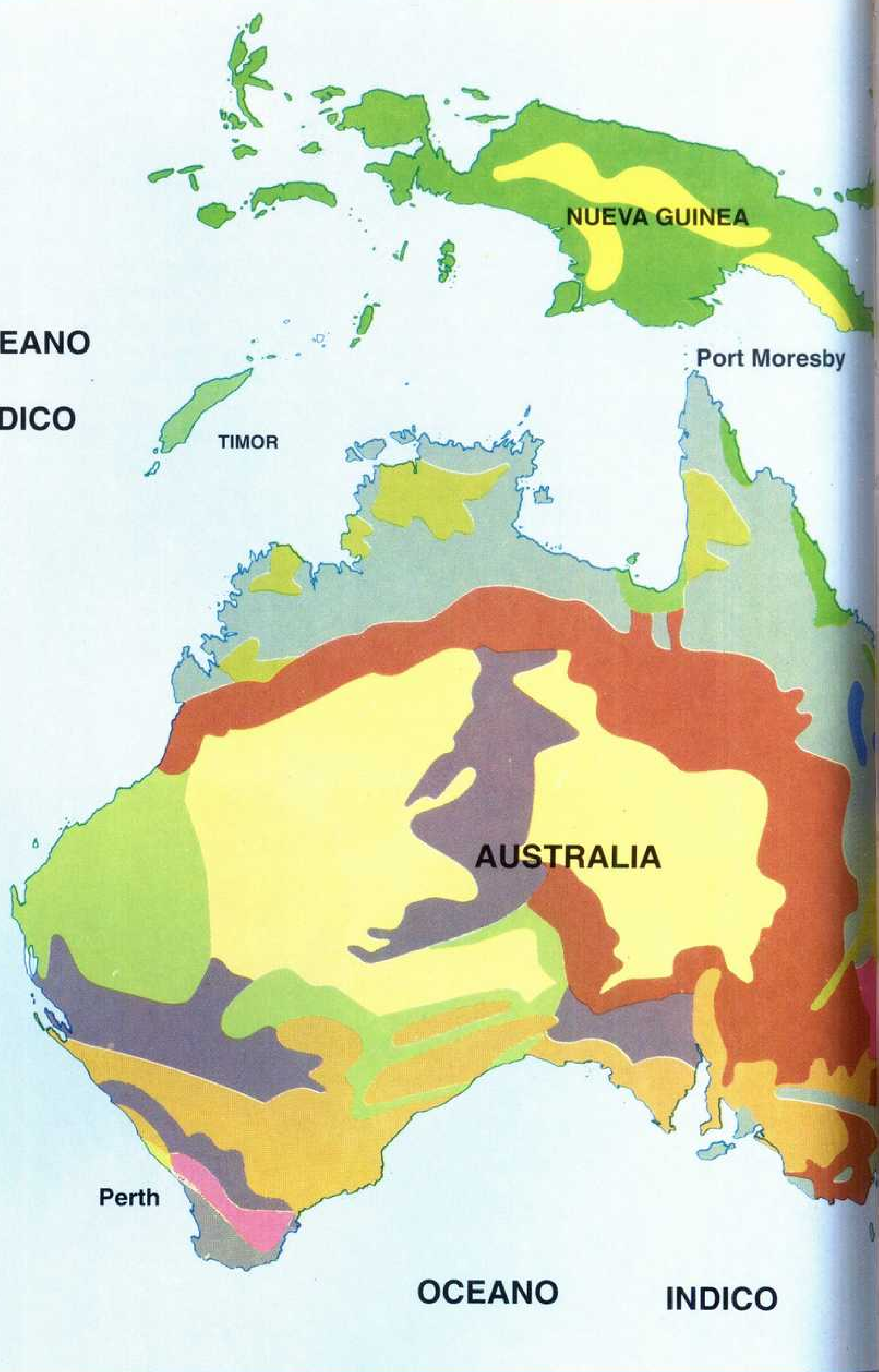
Las barreras oceánicas son, sin embargo, infranqueables para la mayoría de los seres vivos. Una de las regiones más interesantes de estudiar desde este punto de vista es el archipiélago de la Sonda. Cuando censamos las especies que pueblan estas miles de islas separadas por brazos de mar de anchura y profundidad variable, se observa que el archipiélago debe ser dividido en dos grandes zonas biogeográficas muy diferentes. Al oeste, las islas de Sumatra, Borneo (Kalimantan) y Java, con sus anejos, componen la zona de poblaciones orientales asiáticas, caracterizada esencialmente por sus mamíferos placentarios (rinocerontes, pantera, tigre elefante). Al este desde Célebes (Sulawesi) y Lombok, en la cadena indonesia, y hasta Nueva Guinea y Timor, se extiende la zona de población australiana, dominando los mamíferos no placentarios: monotremas (ornitorrincos, equidnas) y marsupiales (canguros, wallabys, wombats, etc.). La línea de demarcación, denominada línea Wallace en honor del fundador de la biogeografía, que fue también el primero en describirla, sigue el estrecho de Macasar y pasa entre Bali (zona oriental asiática) y Lombok (zona australiana). La razón de ser de esta separación resulta evidente: el estrecho de Macasar y el paso Lombok son los únicos brazos de mar lo suficientemente profundos como para haber impedido una comunicación por tierra entre las islas, incluso en los períodos de la historia del globo en los que el nivel del mar fue particularmente bajo. En algunas épocas de la era terciaria, las grandes islas de la Sonda fueron colonizadas por especies llegadas de Malasia, y los archipiélagos orientales, por especies emigradas de Australia. Sin embargo, la mezcla final no se produjo. Además, las tierras de la región, tanto si pertenecen a la zona oriental asiática como a la zona australiana, se encontraron después lo bastante aisladas por la subida de las aguas como para permitir la diferenciación ulterior de numerosas especies endémicas: así nacieron en el lado occidental el rinoceronte de Java, el orangután y el mono narigudo; y en la zona oriental, el babirusa, el varano de Komodo y la cacatúa amarilla, por citar tan sólo algunos ejemplos entre centenares de especies.

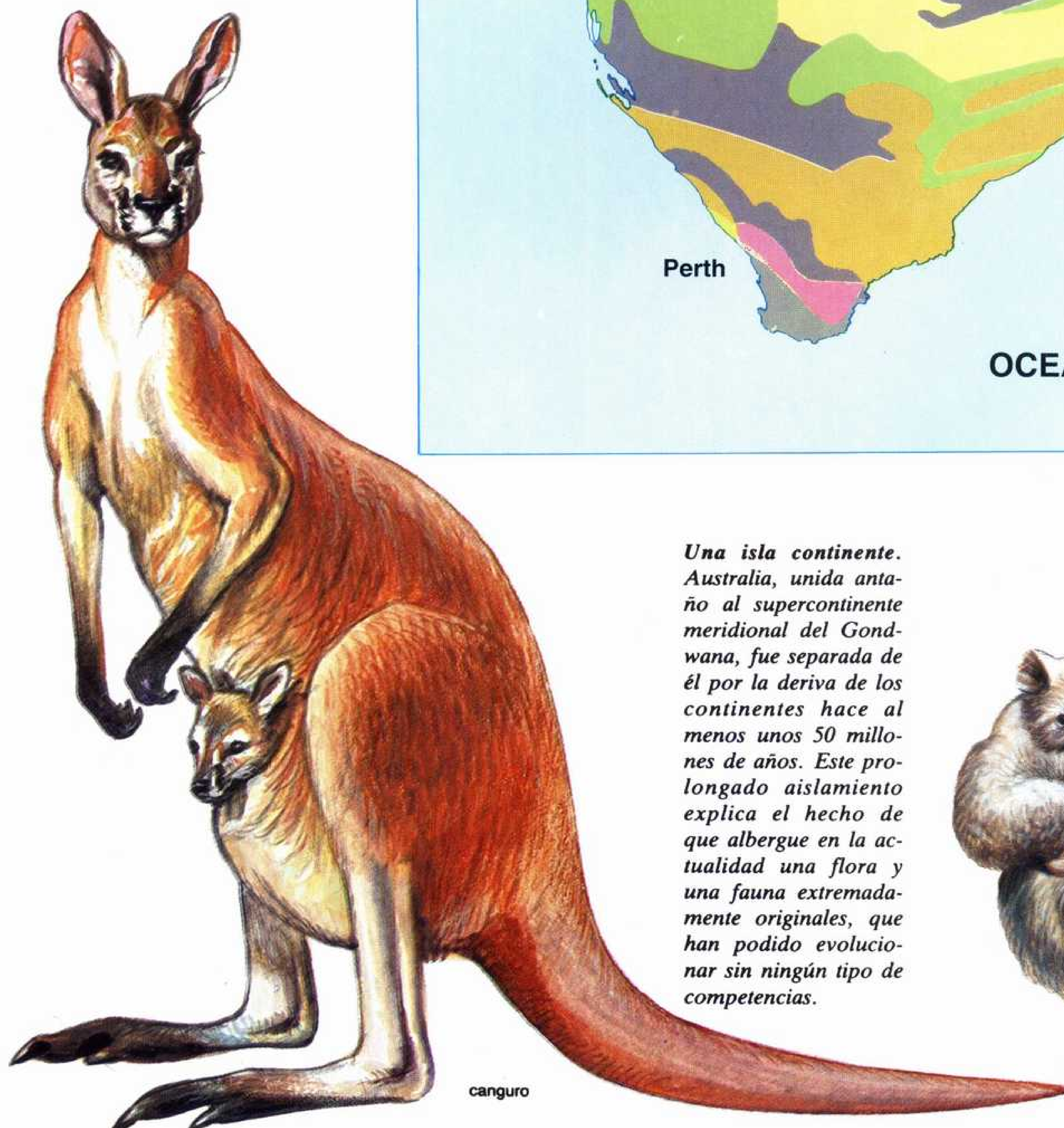
Los procesos de colonización biológica de las islas continentales u oceánicas revisten en general un carácter lento y progresivo. Pero no siempre ocurre así: asistimos a veces a una explosión de vida en una tierra desierta en unos pocos años. En 1883, por ejemplo, el volcán Krakatoa explotó.



La isla que quedó después del derrumbamiento del cono eruptivo estaba completamente desprovista de vida. La reconquista de esta tierra fue rápida. Los biólogos siguieron el proceso con atención. En 1908, es decir, veinticinco años después del cataclismo, ya existían 12 especies de helechos, 103 de plantas fanerógamas, 20 de arañas, 150 de insectos, dos de lagartijas y 16 de aves.

Desde que el hombre existe, y sobre todo desde que viaja por todos los océanos del mundo, los datos de la biogeografía mundial están siendo trastrocados. Allí donde llegaron los navíos de los exploradores y luego de los comerciantes quedaron especies de plantas cultivadas (trigo, avena, cebada), de animales domésticos (cabras, perros, conejos) y de comensales de nuestra especie (ratas, ratones, cucarachas). Estos transportes han sido voluntarios en algunas ocasiones (la historia de la proliferación de los conejos y de las mangostas en las Antillas es de sobra conocida). Pero la mayoría de las veces, las especies vegetales y animales han viajado con el hombre sin pedirle permiso.





Una isla continente. *Australia, unida antaño al supercontinente meridional del Gondwana, fue separada de él por la deriva de los continentes hace al menos unos 50 millones de años. Este prolongado aislamiento explica el hecho de que albergue en la actualidad una flora y una fauna extremadamente originales, que han podido evolucionar sin ningún tipo de competencias.*



ARCHIPIELAGO DE LAS BISMARCK

MAR DE CORAL

OCEANO PACIFICO

Brisbane

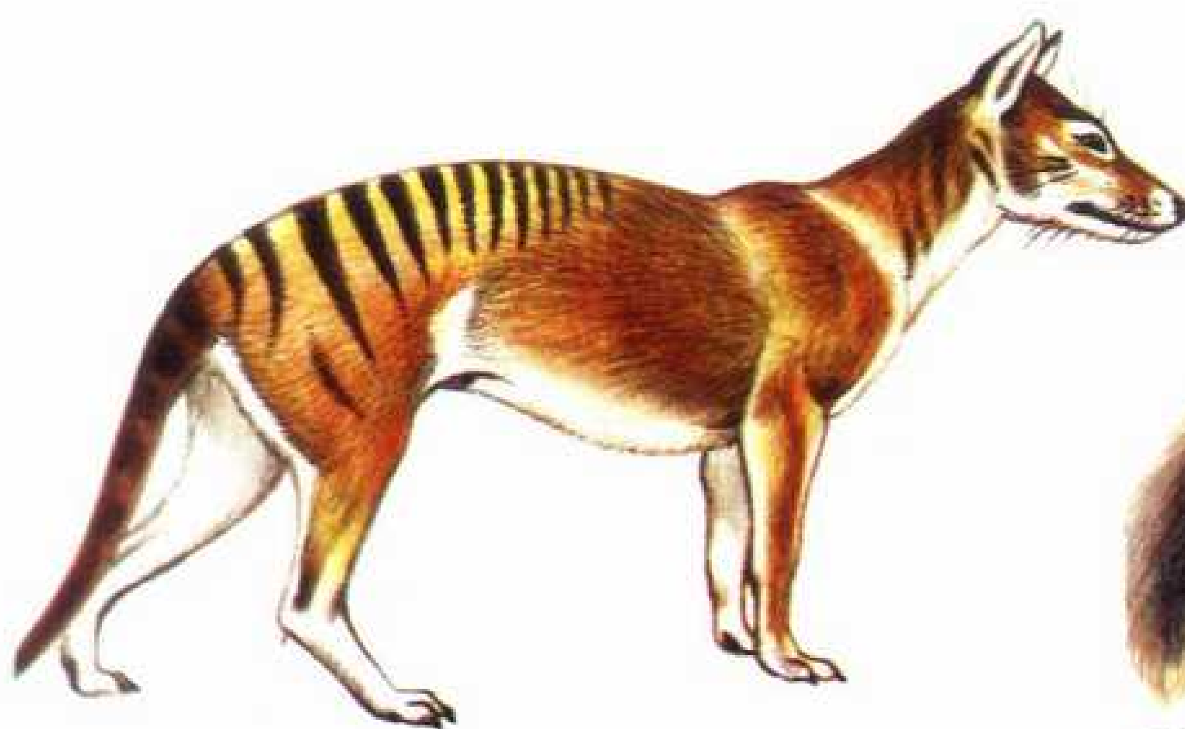
Sydney

Melburne

TASMANIA

Zonas de vegetación

Sabana arbórea
Hayas y coníferas
Bosques de eucaliptos
Bosques de acacias
Selva pluvial
Bosque de eucaliptos
Sabana de hierbas altas
Hierbas altas
Sabana de hierbas rasas
Hierbas rasas
Mallee
Mulga
Desierto



lobo marsupial



ornitorrinco



gato nativo
del este de Australia



equidna



topo marsupial



kiwi

Una fauna rica y original. *Los dibujos de esta doble página muestran algunos ejemplares de la fauna de Australia y de Tasmania, donde imperan los mamíferos no placentarios, como los monotremas (ornitorrincos y equidnas) y los marsupiales (canguros, etc.). Estos animales pudieron mantenerse debido a su aislamiento. Desde la llegada de los europeos, algunas especies fueron aniquiladas, como el lobo marsupial de Tasmania.*



petauro
o ardilla voladora



emú



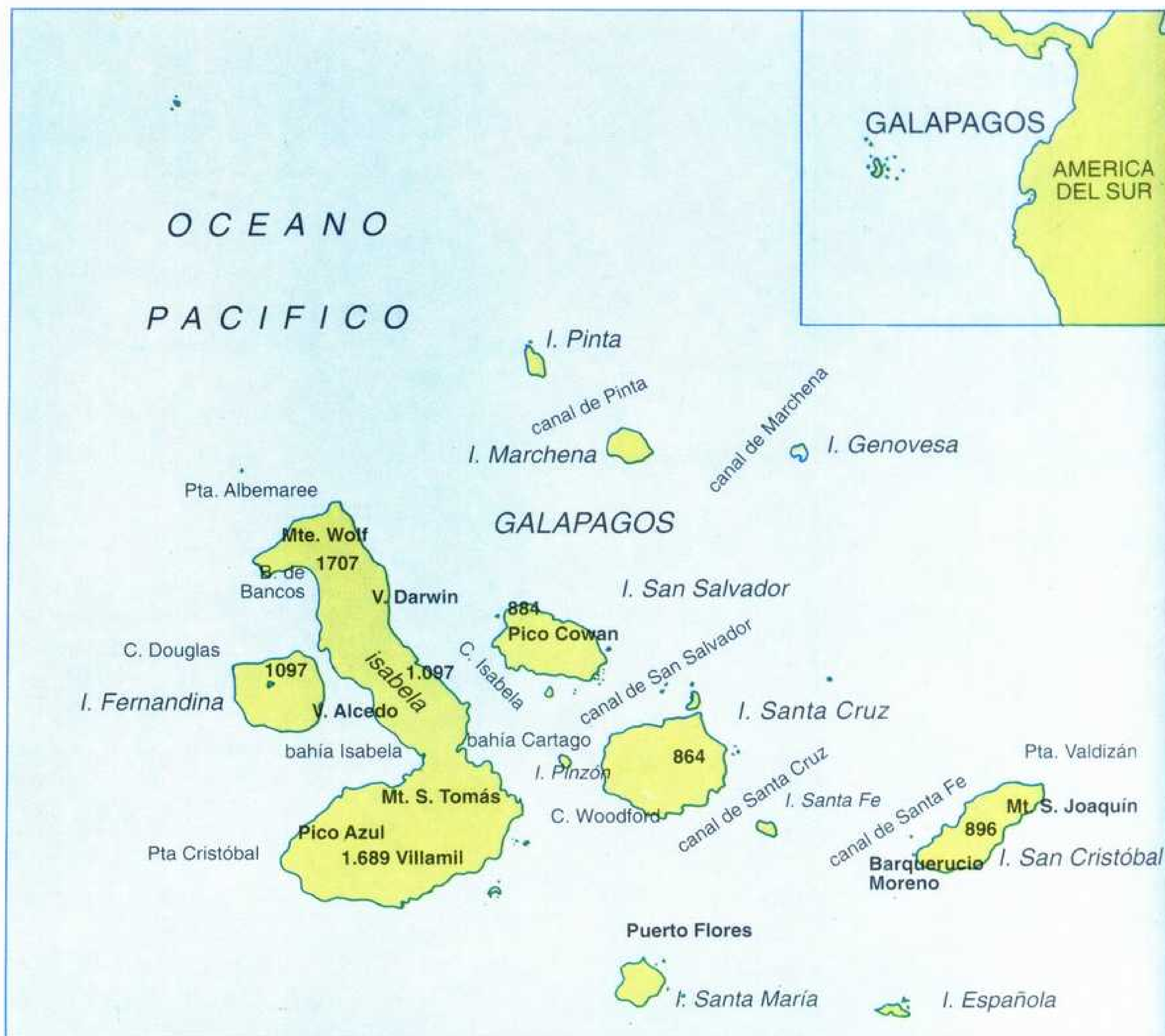
ave lira o menuro

Migraciones y colonizaciones

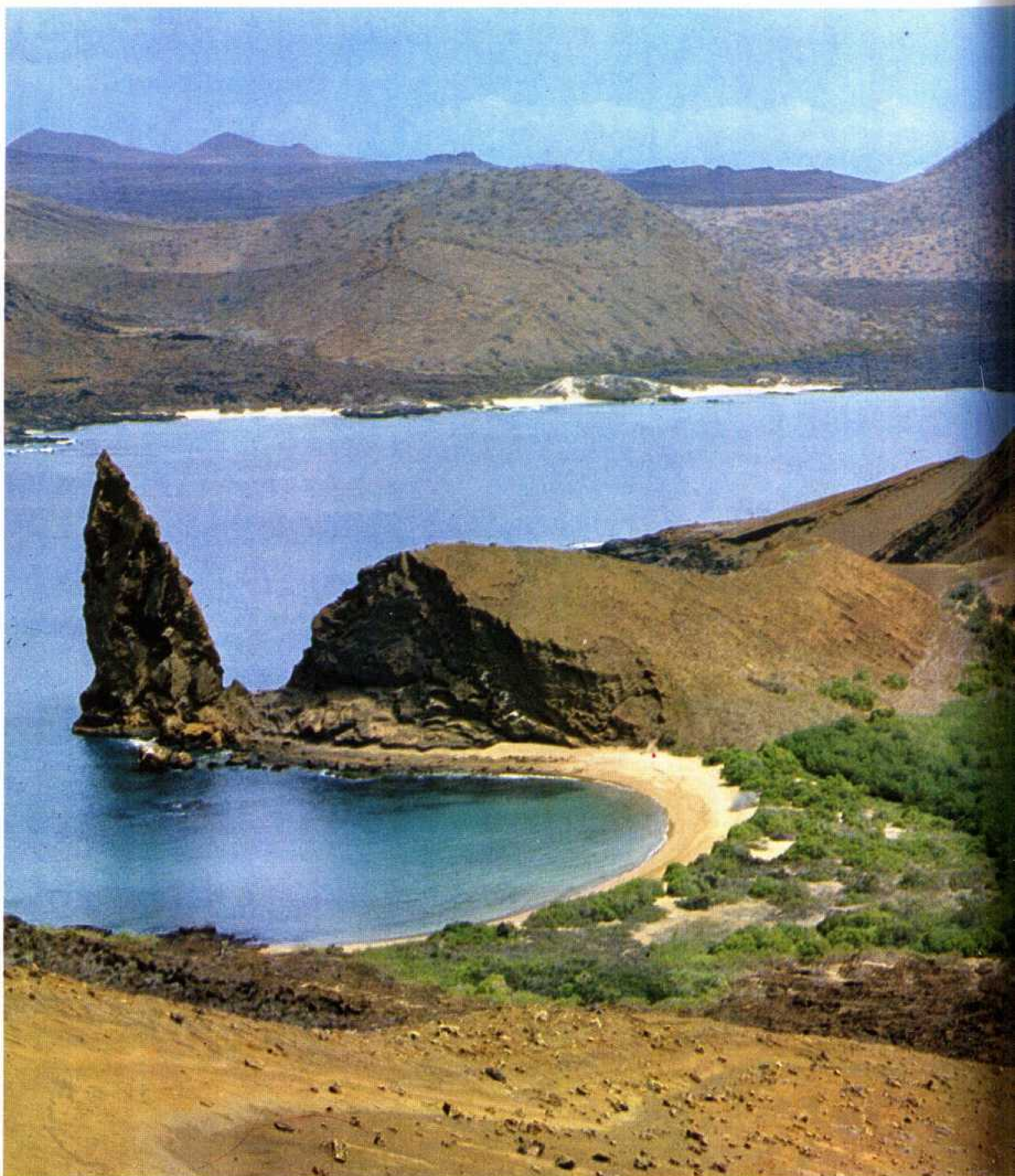
LAS islas son microcosmos donde los científicos tienen oportunidad de estudiar mejor que en otras partes los fenómenos biológicos evolutivos y ecológicos. El primero que lo hizo sistemáticamente fue, desde luego, Charles Darwin, en las Galápagos; este archipiélago sirvió, por lo demás, desde el célebre viaje del *Beagle,* de laboratorio natural a un gran número de botánicos y zoólogos. Pero todos los grupos de islas han tenido sus investigadores, que los han caracterizado. Así, Mac Arthur y Wilson analizaron los componentes de la fauna de las Antillas.

Las islas están pobladas de numerosas categorías de vegetales y de animales. Ciertas especies se han implantado allí desde hace mucho tiempo, pero no han variado con el paso del tiempo, y permanecen en nuestros días idénticas a las que se encuentran en el continente cercano. En las Galápagos, por ejemplo, los alcatraces patiazules o las fragatas no se diferencian de los que se encuentran en las otras orillas del Pacífico oriental.

Una segunda categoría de especies está representada por las plantas y los animales que evolucionaron como consecuencia de su aislamiento, y que se han transfor-







Las islas Galápagos. Perdidas en el océano Pacífico, a cientos de kilómetros de la costa sudamericana, las islas Galápagos se han convertido en un auténtico laboratorio natural de la evolución. Albergan una fauna única en el mundo, distinguiéndose numerosas especies endémicas: tortuga terrestre gigante, pingüino de los Galápagos, cormorán áptero, iguana (página siguiente, abajo), otaria de las Galápagos (aquí arriba), etc., con las que se mezclan aves cosmopolitas, como las fragatas (página siguiente, arriba) y los alcatraces patiazules o patirrojos. Aquí, al lado, a la derecha: una vista de las islas.

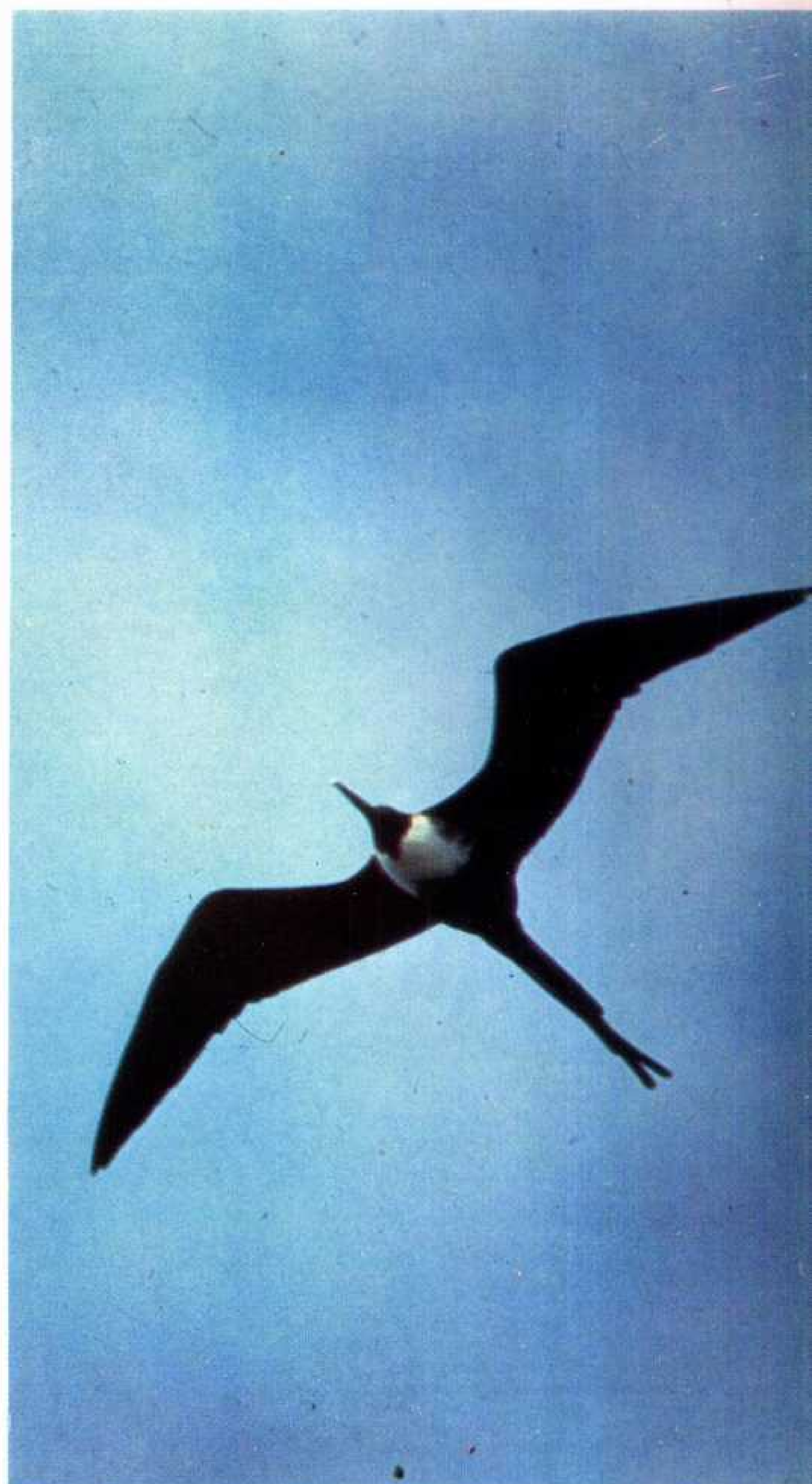
mado en endémicas. En las Galápagos, abundan los animales endémicos: iguana marina, pingüino de las Galápagos, otaria de las Galápagos, cormorán áptero, tortuga gigante, etc., además, evidentemente, de los célebres pinzones de Darwin, de los que cada isla alberga una especie distinta.

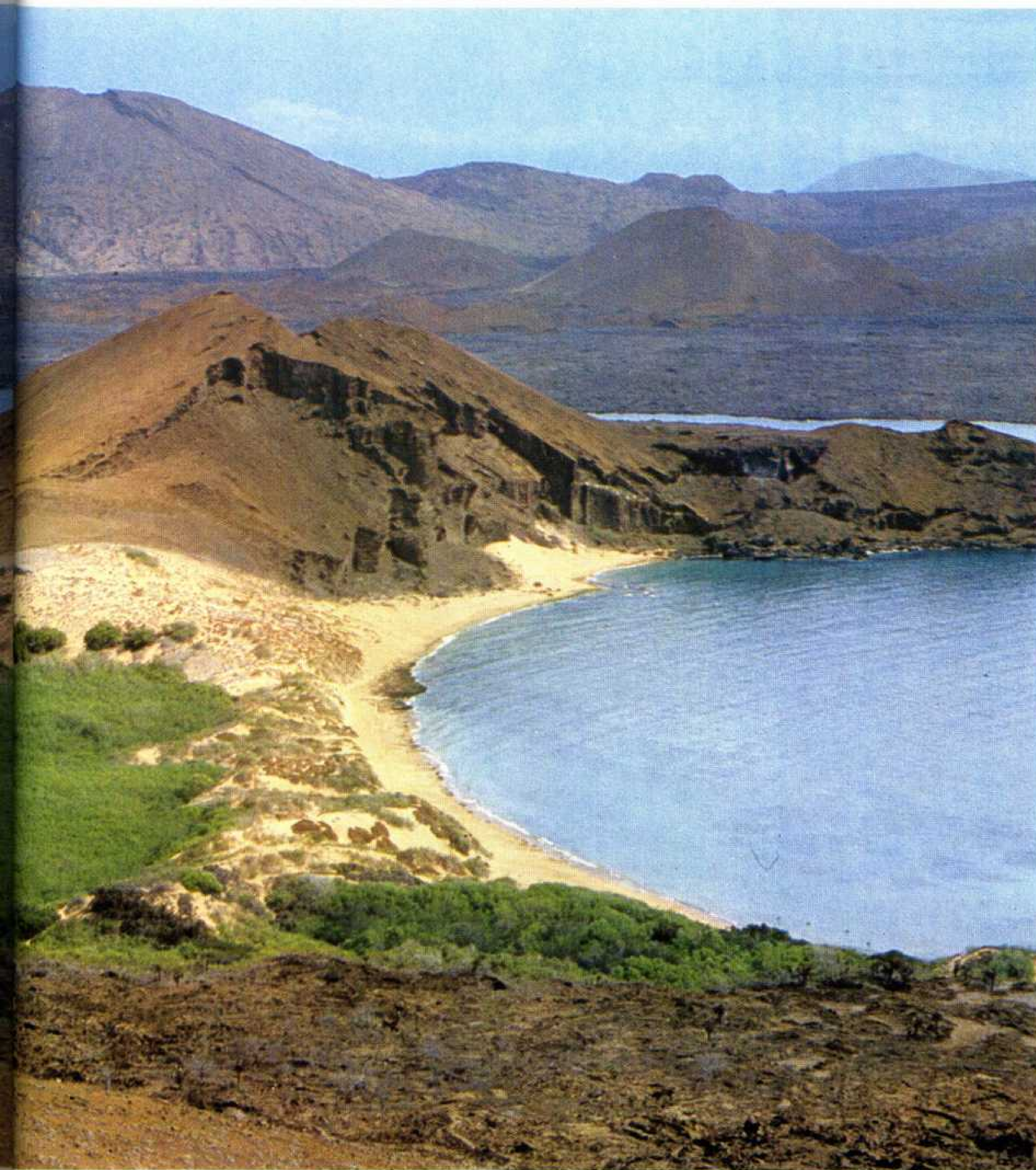
El tercer grupo de seres insulares está constituido por los migradores. Estos visitan periódicamente la isla o el archipiélago. Llegan allí bien porque encuentran en esos parajes comida (migraciones tróficas, alimentarias), o porque tienen por costumbre reproducirse en ellos (migraciones genéticas). Los animales migratorios se cuentan sobre todo entre las aves (golondrinas marinas), los peces y los mamíferos (ciertas ballenas jorobadas del Atlántico norte, por ejemplo, llegan a parir en invierno a las aguas poco profundas del archipiélago de las Bahamas).

Existe una cuarta categoría de plantas y de animales insulares: son los colonizadores. Estos, procedentes a veces de muy lejos, aterrizan por azar en la isla en cuestión. Si se encuentran bien en ella, si la comida les complace y abunda y si apenas hay depredadores, pueden proliferar. Desde hace cuatro o cinco siglos, la principal especie colonizadora es, naturalmente, el *Homo sapiens.* Y como el hombre transporta consigo a donde quiera que va a sus animales domésticos y sus comensales, éstos a su vez colonizan con él... Ratas y cabras, en particular, causan enormes estragos en los biotopos insulares donde eran desconocidas, y donde no existen o son muy pocos los enemigos de estos animales.

En innumerables islas, los balleneros, pescadores, exploradores y comerciantes han desembarcado estos animales por negligencia o incluso sin saberlo, y ellos han impuesto su ley, eliminando a numerosas especies indígenas. Igualmente, la dorífora y la filoxera llegaron de América a Europa, mientras que la cochinilla y la mosca del Mediterráneo invadieron el Nuevo Mundo, en sentido inverso.

Para citar un ejemplo menos conocido, hoy se sabe que los primeros colonos holandeses que volvieron de Nueva Amsterdam (Nueva York), en los alrededores del año 1600, trajeron consigo en el casco de sus navíos el molusco americano *Venus mercenaria,* que hoy es característico del Zuyderzee.







El caso de Madagascar

PARA el naturalista, Madagascar es una pura maravilla. Por las mismas razones que Australia, esta gran isla ha sido un inmenso laboratorio natural para la evolución. Innumerables son allí las especies vegetales y animales endémicas. Más aún: Madagascar es la tierra de elección de grupos enteros de seres vivos, como los lemúridos.

En la actualidad, los geofísicos mismos están dedicados a explicar el porqué de este particular *status*. A principios de la era Secundaria, Madagascar no representaba sino un pequeño trozo del gran supercontinente austral, el Gondwana. Estaba unido a Africa, a la India, a Australia, a América del Sur y a la Antártida. El Gondwana empezó a dividirse bajo la influencia de fuerzas colosales que la ciencia de la tectónica de placas ha logrado ya caracterizar. Africa y la India subieron hacia el norte, pero a diferente velocidad, de manera que Madagascar se encontró desmembrada entre ambas. Por la misma época, Australia había emprendido ya su propia deriva. Africa del Sur, la India, Madagascar, Australia y la Antártida cuentan con los mismos fósiles antiguos. Pero, a partir de finales de la era de los dinosaurios y del comienzo de la de los mamíferos, sus especies empiezan a diferenciarse. Los monotremas y la gran mayoría de los marsupiales se ven confinados a Australia (algunos marsupiales se encuentran también en América del Sur). Africa adquiere progresivamente su gran y famosa fauna placentaria: elefantes, jirafas, rinocerontes, antílopes, leones, etc. Aunque situada a menos de 400 kilómetros de la costa oriental de Africa, Madagascar está muy poco colonizada por la fauna del continente. La razón estriba evidentemente en la gran profundidad del canal de Mozambique, que supera los 3.000 metros, y que por tanto nunca se ha secado totalmente en el transcurso de los descensos glacioeustático del nivel de los mares. Según los geólogos, el canal de Mozambique habría comenzado a abrirse desde principios de la era Secundaria, en el Triásico; pero, evidentemente, durante mucho tiempo siguió siendo franqueable por un gran número de animales, y no fue sino después de iniciarse el Terciario cuando juega plenamente su doble papel de fosa geográfica y biológica.

La flora y la fauna de Madagascar se caracterizan por grandes «lagunas» evolutivas, tanto como por ciertos núcleos de superdiferenciación. En otras palabras, grupos enteros de vegetales y de animales no están allí representados, mientras que otros, contando con todo el sitio disponible, evolucionaron en multitud de especies. Entre los vegetales, por ejemplo, no se encuentra prácticamente ninguna coní-

Diego Suárez
CANAL DE MOZAMBIQUE
Tananarive (Antananarivo)
OCEANO INDICO
lemur ratón pardo
lemur ratón gris
lemur mongoz
katta
indri, aye-aye


camaleón de Madagascar

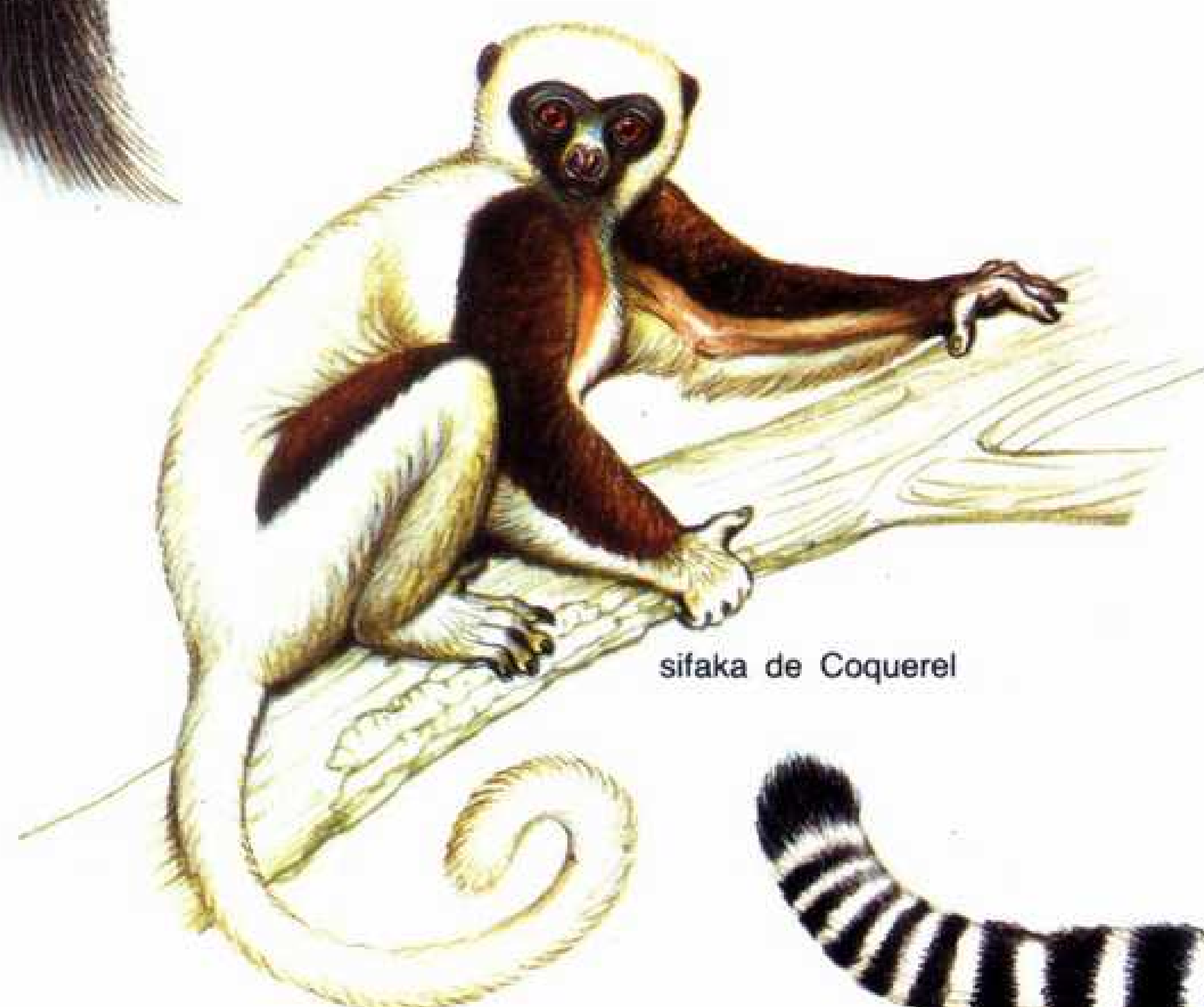
Madagascar, un caso aparte. *Madagascar alberga una flora y una fauna muy diferentes de las del cercano continente africano. En la era Secundaria, Africa y Madagascar formaban parte en efecto del mismo supercontinente Gondwana; pero luego se separaron, probablemente a finales del Cretáceo. Desde entonces, sus especies evolucionaron independientemente. En la gran isla no se encuentra ninguno de los notables animales de Africa (elefantes, leones, antílopes, etc.). Por el contrario, grupos enteros se han diversificado allí y especializado. Entre éstos, los más notables son indudablemente los lemúridos. El mapa de la página anterior da una idea de la distribución de algunas de estas especies endémicas. Los dibujos de esta doble página presentan un cierto número de lemúridos (aye-aye, lemur ratón, sifaka de Coquerel, indri, katta), así como su principal enemigo natural, la civeta fosa. Madagascar es igualmente una tierra abundante en reptiles (especialmente en camaleones), en batracios, en aves y en insectos.*



aye-aye



lemur ratón



sifaka de Coquerel



indri



civeta fossa



lemur katta



tenrec



vanga azul



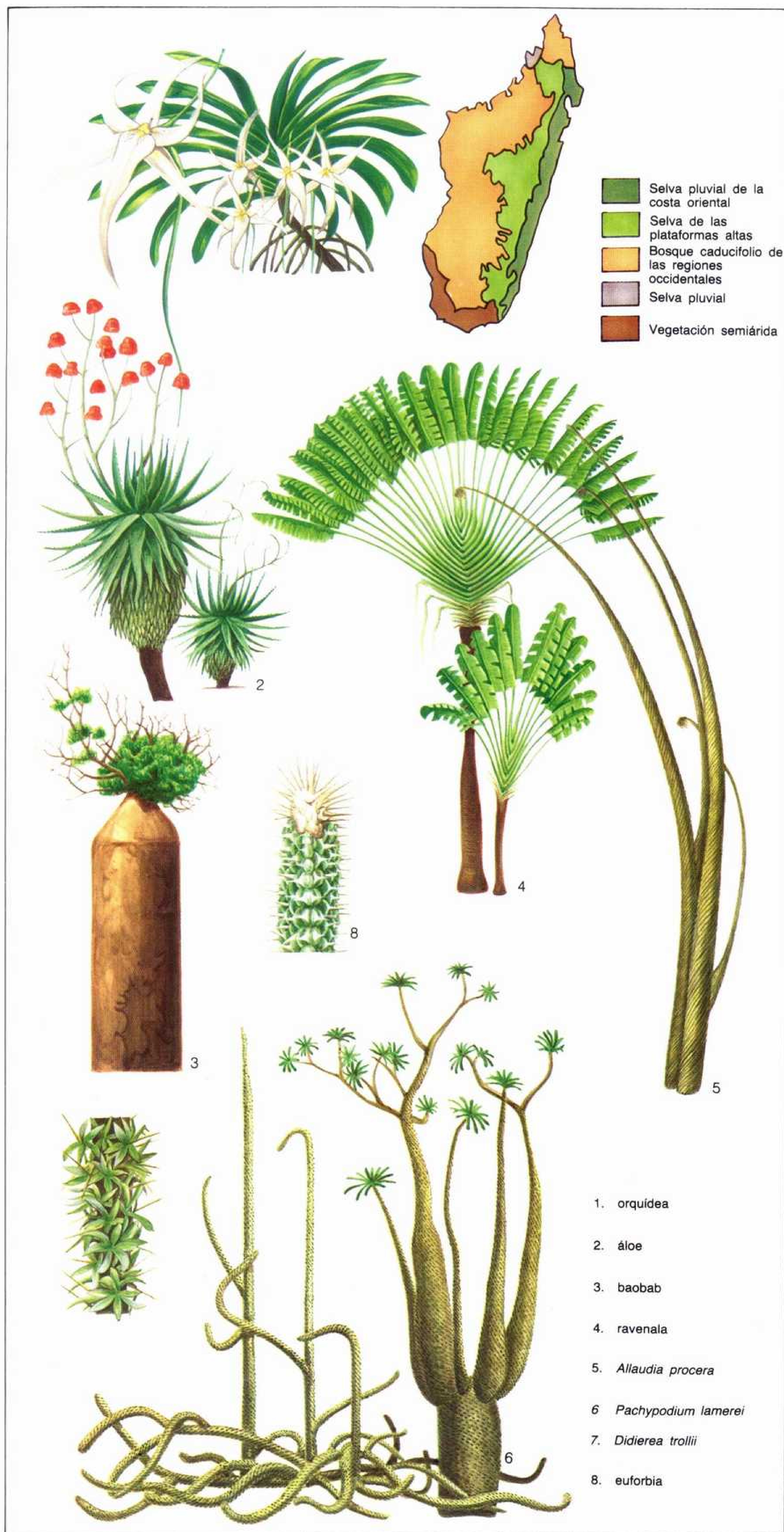
alondra copetuda



mesena

Una riquísima vegetación. *La flora de Madagascar es en sí una maravilla. El mapa pequeño de la página siguiente esquematiza las zonas de vegetación de la isla y muestra la gran variedad biogeográfica del conjunto. Las fotografías de esta página dan una buena idea de la densidad de ciertas selvas locales y del esplendor de sus huéspedes (como los camaleones, las ranas, las mariposas uranias, etc.). Entre las especies vegetales más sorprendentes de la isla, hay que citar evidentemente al ravenala, llamado también «árbol del viajero», pues las vainas de los peciolos de sus hojas recogen el agua como otros tantos cuencos, donde los caminantes sedientos pueden apagar su sed. Madagascar es también la tierra de elección de numerosas orquídeas, de ciertos áloes, de nepentes de las marismas (que son plantas carnívoras), etc. La presión demográfica y los malos hábitos culturales (los desmontes, especialmente) ponen en peligro todas estas maravillas botánicas, así como a los animales que de ellas viven. Los naturalistas se preocupan por esta degradación, y tratan de promover una campaña de preservación de los ecosistemas malgaches, de acuerdo con las autoridades locales, y, como es lógico, en provecho a largo plazo de las poblaciones de la isla.*





fera (con excepción de *Podocarpus,* que llegó de Africa en forma de semilla, y del género fósil *Voltziopsis).* En contrapartida, pululan las liliáceas, las palmeras, las orquídeas, las musáceas; en esta última familia se clasifica a la ravenala de hojas en forma de abanico, llamada igualmente «árbol del viajero», pues la base de sus pecíolos forma una serie de cuencos que recogen el agua de lluvia, con la que mitiga la sed el caminante.

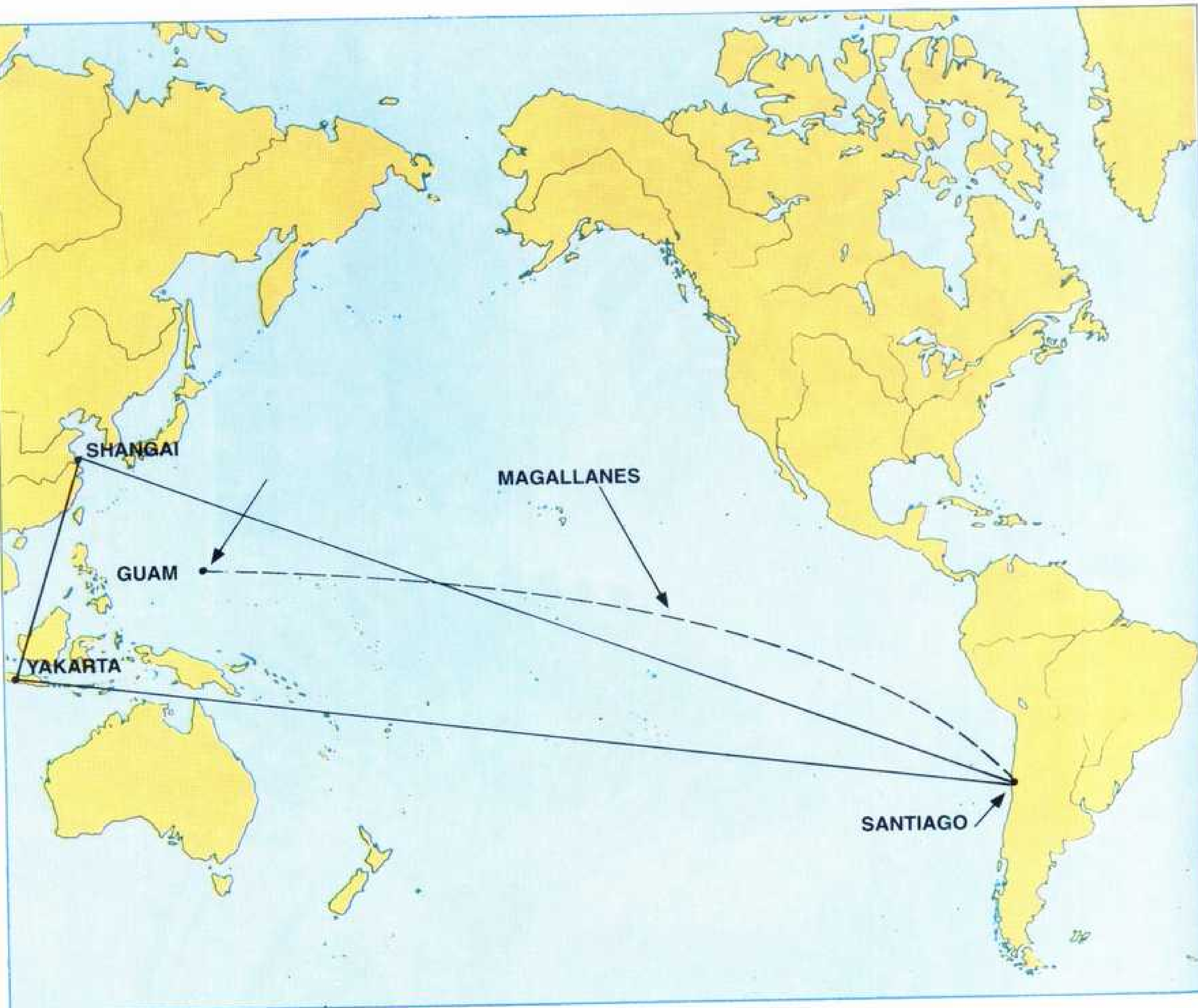
Entre los animales, el hecho más sorprendente es que Madagascar no alberga ningún gran carnívoro (el más feroz es el pequeño gato de algalia *Fossa fossa)* ni ningún gran herbívoro. Por el contrario, son legión los pequeños mamíferos extraños, como el tanrec, que es insectívoro, y sobre todo como los lemúridos. De estos primates se cuentan 21 especies en la isla: el más curioso es el aye-aye, que constituye por sí solo una familia zoológica; entre las demás, el más espectacular es el maki, de larga y espesa cola anillada de blanco y negro. Las aves de Madagascar son también con gran frecuencia endémicas, y lo mismo ocurre con los reptiles, entre los cuales los más curiosos son ciertos camaleones de extraordinarias formas y colores. La gran isla es refugio también de un elevado número de pequeños batracios multicolores (ranas, rubetas), algunos de los cuales se han enfeudado en micromares, esto es, en los hoyos de agua de los troncos de los árboles... También los insectos presentan variaciones prodigiosas en formas y colores.

Las mariposas más bellas, como las uranias, conviven con los coleópteros de los más fantásticos matices y expansiones quitinosas. Las moscas y los demás dípteros llegan por decenas a perderse y morir en los cuencos traidoramente atrayentes de las plantas carnívoras, sobre todo de las llamadas nepentes.

La riqueza de la flora y de la fauna malgaches va a la par con su fragilidad. La selva tropical de la isla, atacada por el desmonte y los incendios provocados por el hombre, retrocede año tras año, y muchas de las preciosas especies que esconde están amenazadas de extinción. Los ecólogos del mundo entero y los enamorados de la naturaleza intentan actualmente movilizarse para que se establezca un plan de preservación de las maravillas de la isla.

Se corre peligro de que en ella se desarrolle a gran escala lo que pasó en las Mascareñas cercanas (Reunión, Mauricio, Rodríguez), donde la fauna original, rica en aves tan extrañas como los enormes dodos (esos animales como palomos de más de un metro de altura, pero incapaces de volar), fue absolutamente aniquilada por los colonos europeos en menos de dos siglos.

El problema de la extinción de las especies



Las islas oceánicas del Pacífico. *El mapa de arriba muestra un gran triángulo comprendido entre Chile, Indonesia y China, en cuyo interior se encuentran el 80 por 100 de todas las islas oceánicas del Pacífico. Resulta singular que Magallanes, en el curso del viaje que le llevó desde España hasta Tierra del Fuego y las Filipinas (donde murió trágicamente antes de que su lugarteniente Elcano diera la primera vuelta al mundo), no encontró sino dos islas deshabitadas... Esto da una idea de la escasa probabilidad que las plantas y los animales perdidos pueden tener de llegar por azar a una tierra aislada en pleno océano. Las corrientes aumentan a veces esta posibilidad.*

TODAS las especies nacen, viven, se reproducen y mueren. El número de las hoy representadas sobre el globo terrestre es reducido en comparación con el de las que aparecieron en otro tiempo. Algunas, las más favorecidas, han atravesado las eras geológicas prácticamente sin experimentar cambios. Otras han subsistido durante apenas algunos miles de años. Determinados paleontólogos han calculado que, por término medio, desde el inicio de la era Terciaria las especies se mantienen durante unos 10 millones de años aproximadamente. Pero esta cifra no es sino un valor meramente indicativo.

Ante el problema de la extinción de las especies, las islas se presentan como medios ambiguos. Por una parte, sirven de refugio a plantas y animales que, en los demás ecosistemas, se enfrentan a seres más fuertes o más astutos que ellos y desaparecen. Por otra parte, constituyen universos cerrados, estrechos, y por tanto más vulnerables que los continentes en caso de alteración climática o geológica.

Ya hemos mencionado que las islas sirven de refugio a los últimos representantes de determinadas especies. Pero habría que mencionar otros ejemplos además de los aducidos. La isla de Aldabra, en el archipiélago de las Seychelles, alberga a una tortuga gigante terrestre *(Geochelone gigantea)*, muy parecida a la de los Galápagos (este animal existía hace unos siglos todavía, en Reunión y en otras islas del océano Indico, y ha sido aniquilado por el hombre). Las Seychelles son también el único lugar del mundo donde crece un extraordinario cocotero, cuyos frutos, de forma evocadora, se llaman «cocos-nalgas». En Indonesia, las islas de Komodo y de Flores han permitido que sobreviva el mayor de los varanos, mitad carroñero y mitad carnívoro, que supera los tres metros de longitud. En Nueva Zelanda viven el kiwi, ave poco evolucionada de alas atrofiadas y fino pico curvo, y el tuatara (o rincocéfalo), auténtico fósil viviente y único representante actual de una rama de reptiles primitivos extinguida en todos los demás lugares desde hace millones de años. Pero no hay que ir hasta el fin del mundo para encontrarse con endemismos insulares: en Córcega, el 8 por 100 de las 2.000 especies de plantas están en este caso (azafrán de Córcega, eléboro de Córcega, aguileña de Bernard, etc.), y un ave como el trepador corso sólo se encuentra en la isla de la Belleza.

Las islas son lugares frágiles en cuanto sobrevienen alteraciones geológicas o climáticas. Las especies se encuentran confinadas en ellas, sin posibilidad alguna de emigrar, y su destino es entonces trágico. Cuando las glaciaciones, por ejemplo, la mayoría de las islas del norte de Europa quedaron cubiertas por el casquete polar y privadas de todo género de vida. La repoblación que sobrevino no permitió que regresaran todas las especies aniquiladas. Irlanda e Inglaterra, por ejemplo, estaban bajo el hielo hace unos 17.000 años; cuando el inlandsis se fundió, se abrió y se llenó de agua el canal de San Jorge, aislando a Irlanda e Inglaterra, mientras que esta última permanecía unida todavía a Francia por un puente de tierra (que desapareció hace unos 9.000 años solamente), las serpientes pudieron invadir nuevamente Inglaterra, pero fueron definitivamente desterradas de Irlanda.

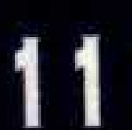
Pero el ejemplo más extraordinario de cambio brusco de una fauna y de una flora insulares sigue siendo el de... América del Sur. Cierto que aquí se trata de un continente. Pero desde su separación del resto del Gondwana, y hasta una fecha muy reciente (hace unos tres millones de años aproximadamente), América del Sur permaneció en la misma situación que Australia. Aislada en pleno océano, permitió el desarrollo de una flora y de una fauna originales. Prodigiosos mamíferos convivieron allí durante todo el Terciario: armadillos gigantes, perezosos gigantes, roedores tan grandes como bueyes, etc. Pocos de estos animales habrían perecido si el istmo de Panamá no hubiera surgido del mar, comunicando a ambas Américas. Raras fueron las especies del sur que lo aprovecharon para dirigirse al norte (entre ellas puede citarse al opossum y al armadillo común). En el otro sentido, en cambio, se produjo un verdadero alud: los herbívoros, y sobre todo los carnívoros del norte (félidos, cánidos), aniquilaron a decenas de especies meridionales. Los hombres —los primeros cazadores llegados ellos también a América del Sur por el istmo de Panamá— acabaron probablemente con numerosas especies locales de herbívoros y de carnívoros. Esto no era sino el preludio de lo que nuestros antepasados perpetrarían como hecatombes en las demás tierras, y especialmente en las demás islas. Citábamos antes el caso del dodo de las Mascareñas. Podrían añadirse cientos de nombres a la lista de animales y plantas endémicas insulares que hemos destruido en las Antillas, en el océano Indico, en el océano Pacífico... Es tiempo ya de que tomemos conciencia de los tesoros vivientes de las islas.

REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Michael Abbey. Acquario di Napoli. American Telephone and Telegraph Compagny. Archivio P2. Piero Baguzzy/Fabbri. S. Barghoorn. Sebastian Bauer et Bill Wood. Bedford Institute of Oceanography. Luciano Bolzoni. Cambridge Scientific Instrument Limited. Chaumeton-Jacana. B. M. Cita. Paolo Curto/Marka. P. M. David. Pierfranco Dilenge. David Doubilet. Alexander Dragovitch. Harold E. Edgerton. Carlo Fabiani. Rhodes W. Fairbridge. Il Gabbiano. Maurizio Gaetani. E. Gaino. G. S. Giacomelli. S. Chiara, Napoli. Al Giddings Sea Films. Perry W. Gilbert. Giusto. Aldo Guerzoni. Phillip J. Halicki. Joel W. Hedgpeth. Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University. L'Aquila. G. Mairani. A. Margiocco. Marineland of Florida. Giuseppe Mazza. Museo Civico di Storia Naturale-Génova. Tullio Mondi. Nasa. National Science Foundation. Naval Photographic Center. Naval Undersea Research and Developement Center. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Christian Petron. Guido Pichetti. Silvio Pirovano. Folco Quilici. Bruno Rizzato. Bruce Robson. Carl Roessler. Jeff Rotman. Scripps Institution of Oceanography. Romeo Spadoni. Anne Wertheim. Western Marine Lab. D. P. Wilson. Woods Hole Oceanographic. Inst. Woods Hole, MA., USA.

ILUSTRADORES

Giovanna Collarini. Santo Chito. Massimo Demma. Alessandro Fedini. Egio Giglioli. Gabriele Pozzi. Prograf S.N.C. Fernando Russo. Piergiorgio Sirtori. Tiger Tateishi. Masayoshi Yamamoto.



ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio